

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Srovnání konvenční a CNC technologie výroby Coltů 1911

Comparison of Conventional and CNC Production Technology of Colt 1911

Student:

Bc. Michal Mokruša

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Mokruša**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: Srovnání konvenční a CNC technologie výroby Coltu 1911
Comparison of Conventional and CNC Production Technology of Colt 1911
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor stávající technologie výroby Coltu 1911.
2. Návrh nové technologie Coltu 1911.
3. Analýza přesnosti stěžejních rozměrů.
4. Závěry pro realizaci v praxi a technicko – ekonomický přínos navrhovaného řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Překl. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
- [2] SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I. - II. doplněné vydání*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010, 138 s., ISBN 978-80-248-2278-4.
- [3] BRYCHTA J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. E-learningové prvky pro podporu výuky odborných a technických předmětů. 2007. Ediční středisko VŠB – TUO, 251 s. ISBN 978-80-248-1505-3.

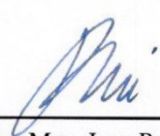
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016




doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že (diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Michal Mokruša

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Brněnská 223

Mutěnice 696 11

Anotace diplomové práce

MOKRUŠA, M. *Srovnání konvenční a CNC technologie výroby Coltů 1911: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, 82s. Vedoucí práce: doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.

Diplomová práce srovnává konvenční technologii výroby vybraných komponent pistole Colt 1911 s nově navrženou strategií výroby pro počítačem řízená obráběcí centra. Stěžejní obsah práce je rozdělen na dvě části. V první je popisován návrh a výroba specifických obráběcích nástrojů použitých při výrobě zbraně. Druhá část je pak věnována rozboru jak konvenční tak NC technologie výroby tvarově a rozměrově nejsložitějších součástí pistole. V závěru práce jsou obě realizované technologie výroby porovnány z několika různých technologických pohledů.

Annotation of Master's thesis

MOKRUŠA, M. *Comparison of Conventional and CNC Production Technology of Colt 1911: Master's thesis*. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2016, 82p. Supervisor: doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.

The master thesis compares conventional production technology of selected components of the Colt 1911 pistol with a newly proposed manufacturing strategy for computer-controlled manufacturing. The fundamental content of the work is divided into two parts; design and manufacture of specific machine tools used in the production of weapons is described, and analysis of both conventional and non-conventional technology of manufacturing the most complex parts of pistols in terms of shape and dimensions. Both production technologies are compared from various technological perspectives.

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Marku Sadílkovi, Ph.D. především za pomoc při výrobě komponent pistole na obráběcím centru DMU 50 a rovněž za rady, kterými přispěl při tvorbě této diplomové práce.

Poděkování míří také technikovi Danielu Venglošovi za pomoc při výrobě rotačních součástí pistole Colt 1911 na soustružnicko-frézovacím centru.

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu SP2016/172 Vliv technologických parametrů na obrobený povrch a SP2016/174 Studium procesu obrábění progresivních materiálů s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.

Seznam použitých zkratk a symbolů	2
1. Úvod	3
2. Představení vyráběné zbraně	4
2.1 Colt 1911	4
2.2 Custom verze Coltu 1911	5
2.3 Kimber Custom TLE / RLII (TFS)	6
3. Návrh a výroba specifických obráběcích nástrojů	7
3.1 Komorový výstružník	7
3.1.1 Komorové výstružníky používané ve výrobě	8
3.1.2 Návrh komorového výstružníku	8
3.1.3 Výroba a ověření funkčnosti komorového výstružníku	10
3.2 Nástroj pro zhotovení vývrtu hlavně	11
3.2.1 Technologie využívané v praxi k realizaci drážkování vývrtu hlavně	12
3.2.2 Návrh nástroje na zhotovení vývrtu hlavně	14
3.2.3 Výroba nástroje pro zhotovení drážek vývrtu hlavně	16
3.3 Nástroj pro obrobení uzamykacích ozubů	20
3.3.1 Návrh nástroje na zhotovení uzamykacích ozubů	20
3.3.2 Výroba nástroje na zhotovení uzamykacích ozubů	22
3.4 Úhlová fréza	23
3.4.1 Návrh a výroba úhlové frézy	23
4. Uvedení vyráběných dílů repliky zbraně	25
4.1 Materiál k výrobě maket střelných zbraní	25
4.2 Souhrnný rozbor všech obráběných dílů Coltu 1911	26
4.3 Komponenty určené pro srovnání obou technologií výroby	28
5. Rozbor stávající technologie výroby vybraných komponent Coltu 1911	29
5.1 Rám zbraně – receiver	29
5.2 Závěr zbraně – slide	32
5.3 Hlaveň zbraně – barrel	35
6. Návrh nové technologie výroby vybraných komponent Coltu 1911	37
6.1 Rám zbraně – receiver	37
6.2 Závěr zbraně – slide	43
6.3 Hlaveň zbraně – barrel	46
6.4 Grip screw bushing	48
6.5 Nábojnice a projektily	49
6.6 Střenky – gripy	50
7. Rozbor problémů vzniklých během výroby na NC strojích	51
7.1 Univerzální 5ti-osé frézovací centrum DMG DMU 50	51
7.1.1 Rozbor problémů vzniklých při výrobě rámu pistole	52
7.1.2 Rozbor problémů vzniklých při výrobě závěru zbraně	53
7.2 Soustružnicko-frézovací centrum	55
8. Rozbor a srovnání strojních časů obou technologií výroby	56
8.1 Srovnání strojních časů výroby rámu pistole	57
8.2 Srovnání strojních časů výroby závěru zbraně	58
8.3 Srovnání strojních časů výroby hlavně zbraně	59
9. Rozměrové a kvalitativní srovnání dílů vyrobených oběma technologiemi	60
10. Závěr	63
Seznam použitých zdrojů	65
Seznam příloh	66
PŘÍLOHA A	67
PŘÍLOHA B	69
PŘÍLOHA C	72

Seznam použitých zkratk a symbolů

CAM	Computer Aided Manufacturing [počítačem podporovaná výroba]
CAD	Computer Aided Design [počítačem podporované navrhování]
NC	Numerical Control [číslicové řízení]
CNC	Computer Numerical Control [řízení obráběcího stroje počítačem]
EDM	Electrical Discharge Machining [elektroerozivní obrábění]
HSS	High Speed Steel [rychlořezná ocel]
RO	Rychlořezná ocel
3D	Trojrozměrný prostor
VBD	Výměnná břitová destička
ACP	Auto Colt Pistol
EN	Evropská norma
ČSN EN	Evropská norma převzatá do národního systému norem ČR

1. Úvod

Hlavní ideou této diplomové práce je porovnání výroby repliky zbraně prostřednictvím konvenčních a moderních počítačem řízených obráběcích strojů.

Samotná práce navazuje na již publikovanou bakalářskou práci, která si brala za cíl porovnat výrobu repliky těžkého kulometu ZB-60 s navrženou 2,5 osou strategií obrábění v CAM systému. Jako srovnávací kritérium byl stanoven strojní čas výroby jednotlivých dílů zbraně. Toto srovnání však probíhalo pouze na teoretické úrovni, jelikož replika zbraně nebyla přímo určená pro rozbor a porovnání obou technologií výroby. Byla totiž vyrobena v době, kdy ještě nebylo známo téma bakalářské práce a záznam jednotlivých strojních časů při konvenčním obrábění nebyl proto příliš důsledný. Taktéž samotný návrh obrábění v CAM systému byl pouze studií, ale s vlastní výrobou na CNC stroji se nepočítalo. Cílem bakalářské práce bylo tedy zhodnocení teoretických časů obrábění získaných na základě navržené strategie obrábění a stanovení, zdali by se do budoucna vyplatila investice do 3osého, počítačem řízeného, vertikálního obráběcího centra. Z praktického hlediska a s přihlédnutím na finanční náročnost, která je spojena s pořízením počítačem řízeného obráběcího stroje, nebyly však tyto údaje plně dostačující.

Tato práce si klade za cíl eliminovat nedostatky z bakalářské práce a za tímto účelem byla zvolená replika zbraně přímo navržena pro toto srovnání a se samotnou výrobou pomocí obou technologií se počítalo již od samotného počátku. Analýza obou technologií bude u této zbraně daleko přesnější a detailnější než u zmiňované repliky z bakalářské práce i díky tomu, že budou vyrobeny hned dva kusy tytéž repliky zbraně. Moderní CNC technologie obrábění bude pak zastřešovat výrobu pro stěžejní díly jedné ze zbraní. Velký důraz bude kladen především na důkladné časové záznamy přímo z výroby. Další nespornou výhodou je možnost vizuálního porovnání kvality obrobene plochy po obou technologiích obrábění. Nabízí se zde i eventualita rozměrového srovnání totožných součástí. Na základě všech získaných srovnávacích parametrů by již neměl být problém se zaujetím požadovaného stanoviska v otázce, zda ne/investovat do pořízení CNC obráběcího stroje.

Část práce je dále věnována konstrukci a výrobě čtyř vlastních obráběcích nástrojů, možností jejich použití během obrábění a srovnání s ekvivalenty běžně používanými v praxi.

Nedílnou součástí této diplomové práce bude i samotné představení obou vyrobených replik zbraní, kde bude každá vyrobená odlišnou technologií obrábění.

2. Představení vyráběné zbraně

Kapitola je věnována představení vyráběné zbraně a objasnění proč byl pro výrobu vybrán právě tento model. Padne zde zmínka o historii zbraně jejích variantách a společnostech, které zastřešují jejich výrobu.

2.1 Colt 1911

Colt 1911 je jednou z nejpodařenějších samonabíjecí pistolí, které se kdy vyráběly. Její konstrukce vychází z modelu Colt/Browning 1900 ráže .38 s uzamčeným závěrem a poklesem hlavně. Do konstrukčního designu modelu 1900 byly zapracovány veškeré požadavky kladené americkou armádou na zhotovení účinné samočinné služební zbraně. Pistole byla navržena a komorována pro nový výkonný typ náboje .45 ACP (Auto Colt Pistol), který disponoval vysokým zastavovacím účinkem. Označení 1911 v modelu zbraně představuje rok, kdy pistole úspěšně prošla všemi armádními testy a byla tak schválena a doporučena jakožto velmi spolehlivá služební zbraň vhodná pro zavedení do výzbroje americké armády. [1]

Ze základního konstrukčního řešení Coltů 1911 bylo pak na základě poptávky vytvořené US Army v roce 1947 odvozeno i několik jejích derivátů. Konkrétně se jednalo o modely s přívlastkem Commander a Officer's. Oba zmíněné modely měly rám vyrobený z lehkých slitin, čímž se značně redukovala hmotnost celé zbraně, která neměla překročit 700 gramů. Rozdíl mezi oběma typy byl pak v délce použité hlavně. Model Commander disponoval hlavní o délce 114,3mm a kompaktnější Officer's dostal podstatně kratší hlaveň o celkové délce 89mm. Oba modely byly komorovány pro náboje ráže 9mm, .38 Super a .45 ACP.

O úspěšnosti Coltů 1911, potažmo jejích variant svědčí i počet zemí, ve kterých se aktivně používala. Výčet zemí je vskutku široký a za zmínku stojí např. Argentina, Brazílie, Filipíny, Jižní Vietnam, Jižní Korea, Německo, Sovětský svaz, Tchaj-wan a mnoho dalších. Řada těchto zemí měla úzké vazby na Spojené státy a dostala pistole Colt jako součást vojenské pomoci.

I když vývoj pistole Colt 1911 pokračuje i v současnosti, je zcela evidentní, že původní konstrukce byla natolik dobrá, že mnohdy prováděné změny jsou zpravidla jen velmi malé. Ve skutečnosti se původní konstrukce mezi lety 1911 a 2016 změnila tak málo, že voják vycvičený s 1911 ještě před první světovou válkou by mohl bez váhání sáhnout po jednom ze současných klonů původní verze a v okamžiku z ní začít střílet. [2]

2.2 Custom verze Coltu 1911

I v dnešní době je Colt 1911 považován za jednu z nejspolehlivějších pistolí, které byly kdy zkonstruovány. Řada zbrojních firem sídlících převážně na území spojených států, se produkcí klonů Coltu 1911 zabývají dodnes. Právě přívlastek Custom u daného modelu pistole značí, že se jedná o moderního, současného nástupce legendárního Coltu. Tyto klony se vyznačují zdokonalenou konstrukcí, která však stále vychází z původního návrhu z roku 1911. Jednotlivé zbrojovky pak do svých modelů implementují především různé zabezpečovací prvky, které dělají jejich model ještě bezpečnější a konkurenceschopnější. [2]

Jednou z firem, která se zabývá výrobou moderních klonů Coltu 1911, je i americká zbrojovka Kimber Manufacturing, Inc. Ta má ve svém portfoliu úctyhodných 17 modelových řad a celkem 89 variací původního Coltu. V dnešní době se jedná o největšího dodavatele custom verzí originálního Coltu na světě. Sortiment firmy je tvořen malými subkompakty s délkou 173mm, dále kompakty o délce 196mm a samozřejmě nechybí i pistole plné velikosti s délkou 221mm. Nabídka zbrojovky je taktéž cílena na sportovně laděné varianty Coltu 1911. Kromě klasické a nejžádanější ráže 45 Auto nabízí firma své klony komorované také pro náboje 10mm Auto, 38 Super a 9mm Luger. Všechny pistole jsou pak dodávány výhradně s jednořadým zásobníkem na 7 (45 Auto) a 8 nábojů (10mm Auto), respektive na devět nábojů v ráži 9mm Luger. Další obměnou oproti originální verzi Coltu je taktická Picatinny lišta umístěná v přední části rámu pistole. Tento prvek slouží pro montáž podvěsného příslušenství používaného u policejních a speciálních jednotek. Společnost Kimber ve svém výrobním procesu využívá ve velké míře moderní technologie jako přesné lití, práškovou metalurgii či opracování dílů na počítačem řízených obráběcích centrech. Zbrojovka se ve světě prosazuje také výtvarným designem svých produktů. Týká se to jak celků a jejich povrchů v kombinaci jemně matných a vysoce lesklých ploch, tak i ztvárněním ovládacích prvků a dalších detailů. Od všech provedených úprav a ozdobných prvků se však také odvíjí cena samotných zbraní. Sériově vyráběné Custom verze Coltu 1911 od firmy Kimber Manufacturing, Inc. se ve spojených státech prodávají za 1000 – 1600 dolarů. Modely pocházející z malých či speciálních sérií se pak vyšplhají až na hranici 2300 dolarů za kus.

Společnost Kimber jakožto jeden z výrobců custom verzí Coltu 1911 byla v této diplomové práci zmíněna právě proto, že zde popisovaná výroba je zaměřena na jeden model z nabídky této americké zbrojovky. Konkrétně se jedná o model TLE / RL II (TFS) z modelové řady TLE II. Proč byl za účelem výroby zvolen právě tento klon Coltu 1911, osvětluje následující kapitola věnovaná detailnějšímu uvedení tohoto konkrétního modelu. [3], [4]

2.3 Kimber Custom TLE / RLII (TFS)

Pistole z modelové řady TLE (Tactical Law Enforcement) americké zbrojovky Kimber Manufacturing, Inc. jsou primárně určeny taktickým specialistům z řad policejních a armádních jednotek. Tato pistole byla původně navržena pro speciální jednotku losangeleské policie (SWAT). Model TLE / RLII ve spojení se světově uznávanou policejní jednotkou, přinesl firmě Kimber velkou podporu prodeje ostatním policejním a bezpečnostním složkám ve spojených státech. [2], [3]

Tato Custom verze disponuje přesnou hlavní, precizně zpracovaným spoušťovým mechanismem a moderním zaměřovačem. Dodává se s hlavní komorovanou jak pro náboj .45 ACP tak 9mm Luger. Pistole disponuje prodlouženou hlavní, jejíž ústí je opatřeno závitěm jemného stoupání pro případnou montáž kompenzátoru hluku. Oproti originálu má tento klon i částečně přepracovaný rám a závěr. Rám pistole obsahuje Picatinny rail lištu pro montáž taktického příslušenství. Celá zbraň je pak ještě o něco bezpečnější díky použité pojistce, která blokuje úderník v okamžiku, kdy není zbraň držena střelcem. Tato pojistka není v originální verzi z roku 1911 použita. Přepracována je i velká část ovládacích prvků avšak z funkčního hlediska se většina dílů drží původní koncepce. Po vzoru moderních zbraní nese Colt 1911 také světlovodné zaměřovače umožňující snazší míření za zhoršených světelných podmínek. Velikostně se pak pistole řadí do nejvyšší kategorie s celkovou délkou 233mm a hmotností 1122 gramů. Cenovka se u tohoto Custom modelu vyšplhala až k hodnotě 1175 dolarů za jeden kus. [4]

Jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, replika Coltu 1911 potažmo tedy spíše její klon byl zvolen se záměrem patřičně srovnat časové a kvalitativní možnosti konvenční a CNC technologie výroby v malém počtu vyráběných kusů. Model TLE / RLII se stal vhodným kandidátem pro výrobu hned z několika důvodů. Pistole je sama o sobě dosti složitá na výrobu a umožňuje tak plně porovnat možnosti výroby na konvenčních a počítačem řízených obráběcích strojích. Už jen výroba uzamykacích ozubů závěru je u Coltu 1911 z pohledu obrábění dosti komplikovaná. Rám pistole je vyroben z jednoho kusu polotovaru a jedná se bezesporu o nejsložitější součást, co se obrábění týče. Všechny tyto problematické aspekty však zevrubně prověří možnosti obou technologií výroby a na základě získaných údajů usnadní rozhodování, zda by se investice do počítačem řízeného obráběcího stroje vyplatila.

Další faktor, který hrál při výběru pistole pro samotnou výrobu ve prospěch Coltu 1911, byla jeho historie a nepřekonatelná konstrukce, navíc ještě vylepšená v podání moderních variant současných zbrojních firem.

3. Návrh a výroba specifických obráběcích nástrojů

Již během první fáze konstruování součástí Coltů 1911 v 3D CAD softwaru SolidWorks bylo zjištěno, že ne všechny díly zbraně lze vyrobit za pomoci běžně dostupných obráběcích nástrojů. Primárně se jedná o zhotovení nábojové komory, vývrtu (drážkování) hlavně, uzamykacích ozubů v závěru pistole a rybinových drážek sloužících pro osazení vhodných zaměřovačů. Naskytla se tedy otázka, jak tyto tvarové plochy co možná nejjednodušeji vytvořit. Jelikož jsou některé z těchto tvarů vytvářeny technologií, která není vhodná pro kusovou výrobu a nelze ji adekvátně ničím jiným nahradit, bylo třeba se poohlédnout po jiném způsobu výroby. U všech zmiňovaných tvarových ploch se tedy adekvátní náhrada za původní technologii výroby nejlépe jevila možnost obrábění speciálními tvarovými nástroji vytvořenými přímo na míru konkrétním potřebám dané součásti.

Následující část této kapitoly je tedy věnována návrhu a samotné výrobě jednotlivých, speciálních, obráběcích nástrojů použitých při výrobě komplikovaných tvarových ploch na součástech pistole Colt 1911.

3.1 Komorový výstružník

První z řady speciálních nástrojů určený pro zhotovení nábojové komory je tzv. komorový výstružník. Jedná se o specificky tvarovaný výstružník s několika řeznými hranami umístěnými buďto rovnoběžně s osou nástroje nebo ve šroubovici. Tvar komorového výstružníku se odvíjí od nábojnice obsahující projektil požadované ráže. Výstružníky používané u hlavní pistolí jsou zpravidla díky kratším nábojnicím jednodušší konstrukce než ty používané u dlouhých zbraní. Komorový výstružník se používá pro vytvoření tvarového otvoru v zadní části hlavně, sloužící pro umístění požadovaného náboje. Především u dlouhých zbraní má pak tato komora totožný tvar jako vkládaný náboj a to z důvodu jeho přesného ustavení vůči dlouhé hlavní a docílení co možná nejefektivnějšího odchodu spalin během výstřelu. Nábojová komora také zajišťuje přesné a opakované ustavení náboje v hlavní zbraně. [5]



Obr. 1 Komorový výstružník pro náboj .45 ACP firmy PTG [6]

3.1.1 Komorové výstružníky používané ve výrobě

V praxi se běžně při zhotovování nábojové komory používá nejdříve komorový výhrubník a až poté výstružník. Komorovým výhrubníkem je v první řadě vyhrubován samotný tvar komory, která je tak připravena pro finišování výsledného povrchu výstružníkem daného rozměru. Někdy se ještě před operací hrubování komory zařazuje hrubé opracování pomocí vnitřního soustružnického nože, případně hrubé předvrtání. Komorový výstružník ve své podstatě odebírá pouze několik málo setin z před hrubovaného tvaru. Na trhu jsou k dostání i tzv. all-in-one výstružníky, které umožňují vytvořit nábojovou komoru v jediném kroku. Jejich pořizovací cena je však nesrovnatelná ve srovnání s cenou sady výhrubník, výstružník. Pro lepší představu jsou v tabulce č. 1 uvedeny koncové ceny komorového výhrubníku a výstružníku pro náboj .45 ACP.

Tab. 1 Koncové ceny nástrojů pro zhotovení nábojové komory [7]

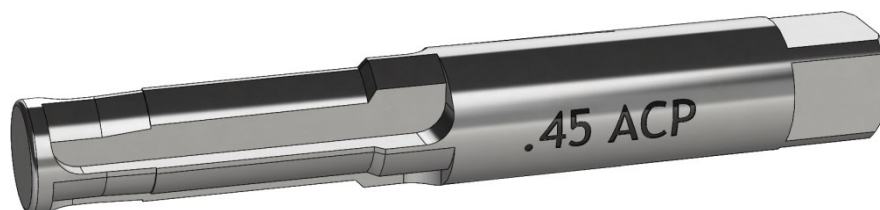
Nástroj	Pořizovací cena [Kč]
.45 ACP – komorový výhrubník	3 953
.45 ACP – komorový výstružník	4 721

Konstrukce komorových výstružníků je dále dělena podle čepu na špičce nástroje. Jedná se o válcovou část výstružníku, která svým rozměrem přesně odpovídá ráži, pro kterou je nástroj určen. Tento čep je dle konstrukce výstružníku buďto pevný nebo otočný. Výhodou výstružníku s otočným čepem je jeho šetrnost k vývrtu hlavně. Nedochází tak ke zbytečnému tření mezi nástrojem a hlavní při zhotovování nábojové komory což minimalizuje možnost poškození vývrtu. Většina výstružníků je vyrobena z vysoce výkonné rychlořezné oceli, zajišťující kvalitní povrch obrobené plochy. Výstružníky dále disponují upínacím čtyřhranem umístěným na stopce nástroje a případně i weldon ploškou, které zabraňují samovolnému pootočení v okamžiku, kdy je nástroj v záběru. [5], [8]

3.1.2 Návrh komorového výstružníku

Úmysl vytvořit vlastní komorový výstružník pro repliku Coltu 1911 byl vzhledem k pořizovacím cenám originálních nástrojů a absenci NC soustruhu vcelku pochopitelný. Při návrhu vlastního nástroje se vycházelo z předlohy originálního výstružníku firmy PTG pro náboj .45 ACP. Tento výstružník má 6 řezných hran a disponuje pevným čepem na náběhu nástroje. Prioritou při návrhu bylo dosažení tzv. all-in-one koncepce výstružníku, která umožňuje zhotovit nábojovou komoru pouze jedním nástrojem. Tím odpadla potřeba konstruovat a vyrábět o jeden složitý nástroj navíc (výhrubník/výstružník). Vzhledem k materiálům použitých při výrobě repliky Coltu bylo možné konstrukci výstružníku také

částečně upravit, tak aby byla co možná nejvíce zjednodušena jeho následná výroba. Počet břitů byl v první řadě snížen z šesti (dle předlohy) na čtyři pro dosažení větších zubových mezer mezi jednotlivými břity. Tato úprava cílila na schopnost výstružníku pojmout větší množství odebíraného materiálu v závislosti na počtu záběrů, které je třeba nástrojem realizovat pro dosažení finálního tvaru nábojové komory. V pořadí druhá úprava spočívala ve změně velikosti úhlu čela břitu a to z pozitivní geometrie používané u originálních výstružníků na nulový úhel čela za účelem snazší výroby nástroje.



Obr. 2 Koncept komorového výstružníku vytvořený v 3D CAD SolidWorks, (zdroj: vlastní grafika)

Jako materiál k výrobě výstružníku bylo třeba zvolit takovou ocel, která disponuje uspokojivou obrobiteľností a dobrými mechanickými vlastnostmi bez potřeby dodatečného tepelného zpracování. Zvolena byla proto nerezová ocel 1.4301 jakožto náhrada za rychlořeznou ocel, která je v domácích podmínkách v nevyžíhaném stavu téměř neobrobiteľná.

Ocel 1.4301 nebo dle české normy 17 240 je austenitická chrom-niklová nerezová ocel s dobrou obrobiteľností a schopností odolávat opotřebení. Disponuje vynikající odolností vůči korozi v přirozeném okolním prostředí. Při třískovém obrábění je třeba používat ostře nabroušené nástroje z vysoce legovaných rychlořezných ocelí popřípadě břitové destičky ze slinutých karbidů. Dále se doporučuje dodržovat předepsané řezné parametry během obrábění pro docílení uspokojivých výsledků. Následující tabulka uvádí chemické složení a mechanické vlastnosti korozivzdorné oceli 1.4301. [9], [10]

Tab. 2 Tabulka chemického složení a mechanických vlastností oceli 1.4301 [11], [12]

Chemické složení – dle EN 10088 [hm. %]							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
max. 0,07	max. 1,00	max. 2,00	max. 0,045	max. 0,015	17,0-19,5	8,00-10,5	max. 0,11
Mechanické vlastnosti (po rozpouštěcím žihání) – dle EN 10088-3							
D [mm]	Tvrdost HB	R _{p0,2} [MPa]	R _{p1} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]		
≤ 75	215	210	250	520–720	45		

3.1.3 Výroba a ověření funkčnosti komorového výstružníku

Polotovarem pro výrobu komorového výstružníku byla tyč kruhového průřezu o průměru 14mm. V první řadě bylo třeba na polotovar přenést konečný tvar nábojové komory. Díky tomu, že je vnější obrys komory složen z několika úseček, které mezi sebou svírají konkrétní úhly, bylo možné tento krok realizovat na běžném konvenčním soustruhu pomocí přesně nastavených suportů. Tento krok byl však z pohledu výroby kritický. Bylo zapotřebí tvar komory přenést s co možná nejvyšší přesností, jelikož se od této operace odvíjela výsledná přesnost nástroje. V okamžiku kdy byl tvar úspěšně přenesen na obrobek, se výroba přesunula na vertikální frézku osazenou dělicím zařízením. Tato tzv. dělička umožnila na obrobku vytvořit čtyři řezné hrany s naprosto stejnou úhlovou vzdáleností. Pro frézování zubových mezer byl nájezd a výjezd frézy zamýšlen na okraji každého zubu. Za účelem jich obrobení byla využita fréza průměru 6mm z rychlořezné oceli legované osmi procenty kobaltu. V navazujícím kroku výroby byl obroben upínací čtyřhran umístěný na stopce nástroje. Poslední operací zaměřenou na geometrii nástroje bylo vytvoření hřbetu řezné hrany výstružníku. Hřbety všech čtyř zubů byly vybroušeny za účelem snížení tření mezi hřbetem a vystružovanou komorou hlavně.

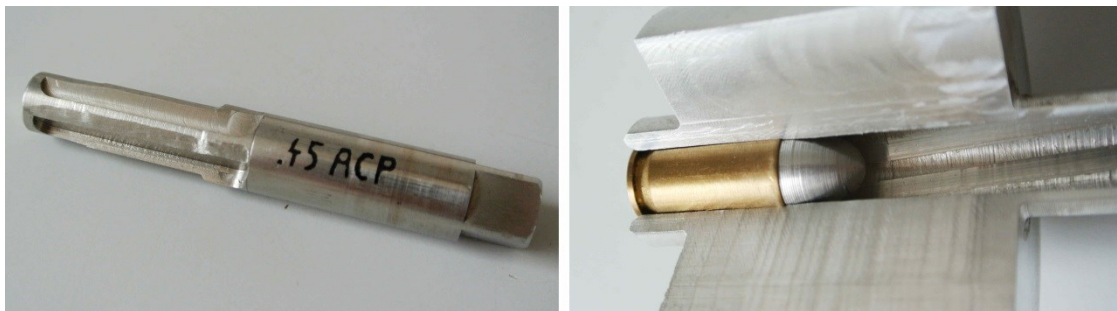


Obr. 3 Výroba komorového výstružníku, (zdroj: vlastní fotografie)

Takto vytvořený výstružník bylo nejprve třeba odzkoušet na testovacím kuse, kde se kontrolovala jak řezná způsobilost nástroje, tak i tvar a kvalita povrchu zhotovené nábojové komory. Během první zkoušky bylo však zjištěno, že zubové mezery sloužící pro dočasné uložení odebíraného materiálu jsou příliš plytké. Bylo by tak zapotřebí řezný pohyb opakovat vícekrát se současným odstraněním třísek ze zubových mezer. Při následné kontrole bylo zjištěno, že v nejplytčím místě má drážka 0,8mm což odpovídá původnímu návrhu nástroje. S přihlédnutím k tomu, že se však jedná o výstružník, který by měl na jeden záběr zhotovit celou nábojovou komoru (all-in-one) je tato hodnota nedostatečná. Nástroj byl tedy opět upnut do dělicího zařízení a hloubka všech zubových mezer byla v nejplytčím místě zvýšena na 1,6mm. Po následném odzkoušení byly již zubové mezery dostatečně hluboké a dokázaly

pojmout všechny obrobený materiál na jeden řezný pohyb. Ostatní kontrolované parametry včetně tvaru nábojové komory již plně odpovídaly očekávaným výsledkům.

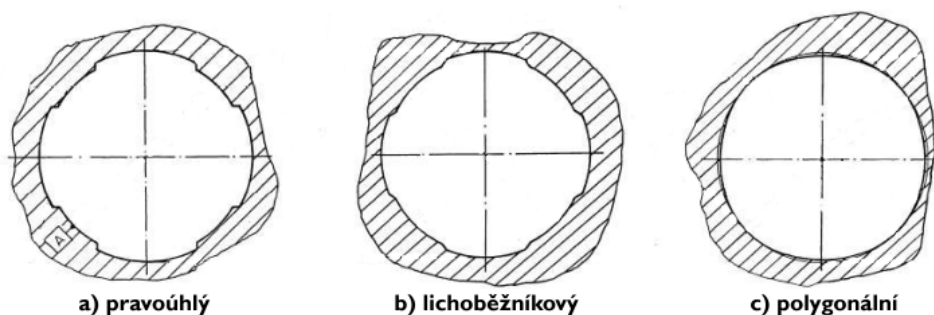
Z důvodu tvarové složitosti nástroje a s tím spojené obtížné kontroly rozměrů hotového výstružníku byl nástroj v konečné fázi výroby opatřen adekvátním značením. Pomocí chloridu železitého byla na stopku nástroje vyleptána zkratka výrobce a typ náboje, pro který je výstružník určen.



Obr. 4 Komorový výstružník (vlevo), řez hlavní se zasunutým nábojem, (zdroj: vlastní fotografie)

3.2 Nástroj pro zhotovení vývrtu hlavně

Další z řady specifických nástrojů byl použit pro zhotovení drážkování vývrtu hlavně. Jedná se o speciální nástroj, který díky kombinaci rotačního a posuvového pohybu odebrává materiál z předvrtaného otvoru hlavně za účelem vytvoření spirálových drážek. Počet a velikost drážek v hlavni se pak odvíjí od konkrétního modelu zbraně a použité ráže. Toto drážkování uděluje vystřelenému projektilu rotaci po jeho podélné ose, čímž je střela gyroskopicky stabilizována a zvyšuje se tak její dostřel a přesnost. [8] V současnosti jsou používány zejména tři varianty vývrtů. První z nich je klasický pravoúhlý vývrt, druhý je lichoběžníkový a třetí je tzv. polygonální vývrt. Každý vývrt dále disponuje charakteristickým stoupáním, což je údaj určující jakou vzdálenost urazí projektil za jednu otáčku kolem své podélné osy. [13] Velikost stoupání se odvíjí především od použité ráže, hmotnosti a tvaru střely. V praxi se stoupání značí poměrem vzdálenosti k jedné otáčce šroubovice, tedy např. 1:500mm



Obr. 5 Varianty vývrtů používané v současnosti [14]

3.2.1 Technologie využívané v praxi k realizaci drážkování vývrtu hlavně

Pro výrobu hlavní funkčních zbraní se v praxi využívá hned několik technologických řešení. Tyto jednotlivé technologie lze rozdělit do tří skupin dle způsobu utváření spirálové drážky hlavně. První a nejpoužívanější možností jak vytvořit drážkování je použití technologie tváření. Druhou technologií je třískové obrábění a poslední ne příliš používaná metoda je zhotovování drážek za pomoci elektroerozivního obrábění EDM.

Technologii tváření lze z pohledu výroby vývrtu hlavně rozdělit na radiální a rotační kování, protlačování / protahování tvářecího trnu a flow forming.

U radiálního kování je polotovár hlavně vložen mezi kovací kladiva a do předvrtaného otvoru v hlavni je zasunut kovací trn, jenž na svém povrchu nese reliéf zhotovovaných drážek. Hlaveň se pak spolu s kovacím trnem otáčí a posouvá vůči své středové ose a kovací kladiva působí dostředivým pohybem na vnější plochu obrobku. Tím dochází k utváření vývrtu kolem kovacího trnu. Polotovár pro výrobu musí být v tomto případě zhruba o 30% kratší než konečná délka hlavně a jeho vnitřní otvor musí mít přibližně o 20% větší průměr.

Rotační kování je obdobou toho radiálního s tím rozdílem, že se při procesu utváření drážek hlavně neotáčí obrobek, ale rotují kovací kladiva, která současně dostředivě kmitají. Obrobek se zde pouze posouvá podél své podélné osy.

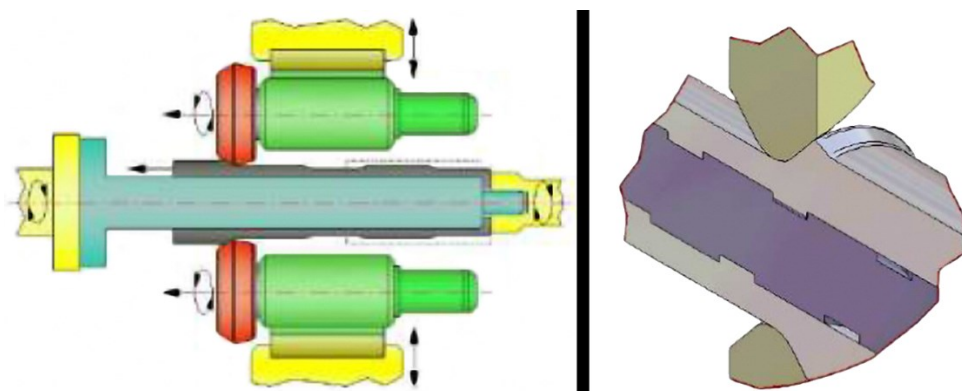
Metoda protlačování / protahování dnes stojí za většinou produkovaných drážkovaných hlavní. U této varianty výroby je používán protlačovací trn našroubovaný na ocelové tyči a pomocí hydraulického lisu je protlačován podél osy obrobku. Proto, aby však vznikla spirálová drážka, je zapotřebí, aby nástroj při podélném pohybu také rotoval. U tohoto způsobu výroby je kladen velký důraz na to, aby byl nástroj polotovárem protlačen konstantně. Není-li tato podmínka splněna, může docházet k porušení souvislosti utvářeného vývrtu. [13]



Obr. 6 Protlačovací nástroje na zhotovení vývrtu hlavně firmy Star SU [15]

Další metodou výroby je technologie zvaná flow forming. Tento postup výroby je založen na přetváření původního polotovaru do jeho nové podoby. Děje se tak za pomoci většinou tří tvářecích válců rozmístěných rovnoměrně po celém obvodu hlavně. Tyto válce pak pomocí hydraulického pohonu vytvářejí přítlak na obrobek. Tvářecí pohyb je realizován podél středové

osy hlavně. Polotovár disponuje předvrtaným otvorem, který je většího průměru, než je jeho finální rozměr. Do otvoru je následně vsunut trn, jehož povrch tvoří drážky a pole stejně jako u hlavně samotné. Jediný rozdíl oproti vyráběné hlavni je v tom, že jsou drážky zaměněny za pole a naopak. Tato úprava je nutná právě proto, že při procesu tváření je materiál vtlačován do drážek zhotovených na trnu a tím v podstatě vznikají pole hlavně. [13]



Obr. 7 Schéma flow formingu (vlevo), detail utváření drážek (vpravo) [16]

Z technologie třískového obrábění lze vyzdvihnout dva způsoby zhotovování drážek vývrtu hlavně. Jedná se o protahování a drážkování. Obě metody jsou si docela podobné, avšak liší se zásadně v použitém nástroji.

U metody protahování se využívá stupňovitý nástroj, který je protahován otvorem hlavně při jeho současném otáčení. Použitý nástroj disponuje několika řadami řezných elementů, jež jsou rovnoměrně rozmístěny po jeho obvodu. Tyto řezné elementy lze rozdělit do tří skupin podle množství odebíraného materiálu. První soubor zubů lze označit jako hrubovací, následují tzv. kalibrační břity a zbývající zuby tvoří dokončovací neboli hladící část nástroje. Protahovací nástroje lze rozdělit celkem do 3 skupin dle konstrukce protahováku. Pro zhotovování drážek vývrtu do průměru 70mm se používají celistvé popřípadě sekční protahováky. U větších průměrů se používá buďto tažná hlava se stavitelnými noži, nebo tažné kroužky odstupňované dle úběru materiálu (hrubovací, kalibrovací, hladící). [13]

Druhá z metod třískového obrábění je drážkování. U tohoto způsobu obrábění je materiál odebírán za pomoci nožů zasazených do nožové hlavy. Hlava je následně protahována otvorem hlavně přičemž vykonává rotační pohyb. Drážkovací nástroje zhotovují vývrt hlavně buďto po jednotlivých drážkách – jednobřité nástroje, nebo pomocí vícebřitých variant odebírají materiál z několika drážek (až 20) současně.

Poslední zde zmíněný postup zhotovování drážek využívá nekonvenčního způsobu obrábění. Metoda známá pod zkratkou EDM – electrical discharge machining neboli

elektroerozivní obrábění. Jedná se o technologii fungující na principu úběru materiálu v dielektriku. Pro vytvoření drážek vývrtu se používá kovová nejčastěji měděná elektroda, jejíž obvod nese tvar zhotovovaného vývrtu. Elektroda má ve své spodní (náběhové) části tvar kužele pro zajištění pozvolného úběru materiálu. [13] Polotovár hlavně s předvrtaným otvorem (otvor není podmínkou) je umístěn v lázni s dielektrikem, do kterého je postupně zasouvána tvarová elektroda. Pohyb elektrody však musí být sdružen s jejím otáčením. V okamžiku kdy se elektroda dostane do těsné blízkosti polotovaru, započne úběr materiálu vyvolaný elektrickými výboji, které materiál rozrušují. Čas od času je třeba dielektrikum vyměnit, jelikož se vlivem nečistot proces úběru materiálu zpomaluje. Tento způsob výroby drážkování hlavně je neocenitelný především u těžko obrobitelných materiálů, jakými jsou titanové či kobaltové slitiny apod. Velkou nevýhodou je ovšem pořizovací cena výrobního zařízení.

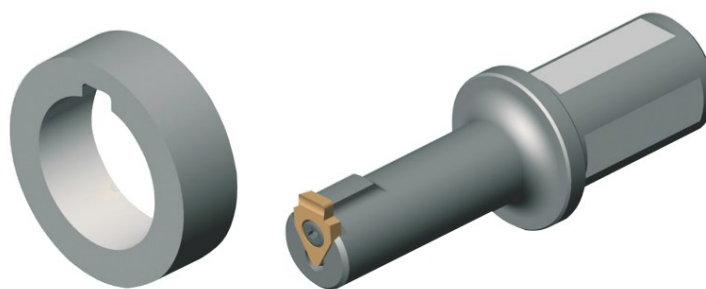


Obr. 8 EDM katoda (vlevo), vývrt zhotovený technologií EDM (vpravo) [17]

3.2.2 Návrh nástroje na zhotovení vývrtu hlavně

Většina zákazníků u poptávaných replik zbraní zpravidla drážkovaný vývrt hlavně nevyžaduje. Ovšem díky přístupu k CNC soustruhu se naskytla jedinečná příležitost zhotovit takový vývrt u hlavně Coltu 1911. Originální nástroje pochopitelně nepřicházely v úvahu, vzhledem ke kusové povaze výroby. Bylo proto zapotřebí zkonstruovat a vyrobit takový nástroj, který zvládne ve spojení s počítačem řízeným soustruhem zhotovit vývrt hlavně a zároveň nebude příliš složitý a nákladný na výrobu pomocí konvenčních strojů.

Prvotní myšlenkou bylo vytvořit nástroj založený na třískovém obrábění. Předlohou pro jeho návrh byly obrážecí nože s vyměnitelnou břitovou destičkou (VBD) produkované společností Paul Horn GmbH. Tyto nástroje se zpravidla používají pro výrobu drážek na vnitřních kruhových plochách a disponují jednobřitou VBD, jenž je vsazena a přišroubována do držáku obsahující lůžko dle tvaru použité destičky. Inspirací u těchto nástrojů byl použitý tvar a konstrukce VBD z čehož se také později vycházelo při návrhu vlastního nástroje pro drážkování hlavně.



Obr. 9 Obrázcí nůž s VBD firmy Paul Horn GmbH + příklad použití [18]

Navržená konstrukce nástroje vychází ze čtyř jednotlivých součástí. Výměnná břitová destička, tělo nástroje, vodící trn a upínací šroub.

Základem nástroje je břitová destička z rychlořezné oceli 19 810, která je tvořena třemi břitů vůči sobě pootočenými o úhel 120° . Každá ze tří řezných hran má podle vzoru obrázcích nožů firmy Paul Horn GmbH podbroušené čelo, za účelem dosažení pozitivní řezné geometrie. Hřbety a boky zubů jsou zkoseny tak, aby bylo minimalizováno tření mezi destičkou a zhotovovanou drážkou. Upnutí VBD do těla nástroje je realizováno prostřednictvím středového otvoru.

Tělo neboli stopku nástroje lze z konstrukčního hlediska rozdělit na 3 části a to upínací úsek, vodící segment a lůžko břitové destičky. Nejdelší část tvoří upínací stopka o průměru 10mm, která se u špičky nástroje rozšiřuje na přesný rozměr 11,2mm a vytváří tak vodící element, jež vede nástroj v předvrtaném otvoru hlavně. Přední část těla pak disponuje lůžkem trojúhelníkového tvaru pro ustavení výměnné břitové destičky. Ve středu lůžka je dále umístěn otvor opatřený metrickým závitem M4. U horní části lůžka VBD je navrženo osazení, které slouží jako středící článek mezi tělem a odnímatelnou hlavičkou nástroje, jež obě části udržuje souose vůči sobě.

Špičku nástroje tvoří již zmiňovaná odnímatelná hlavice navržená pro zajištění náběhu a vedení nástroje v otvoru hlavně. Hlavička rovněž plní funkci hlavního upínacího elementu, který díky šroubu umístěnému v jeho středu drží jednotlivé díly nástroje na požadovaném místě. Součástka má po svém obvodu 3 drážky rovnoměrně umístěny před každou řeznou hranou určené pro dočasné uchování vytvářené třísky během zhotovování drážek vývrtu. Jelikož jsou vodící plochy umístěny v těsné blízkosti VBD a to z obou stran jsou tyto drážky pro funkčnost nástroje nezbytné a umožňují efektivní odvod třísky z břitu destičky. Použitým materiálem je jak u hlavičky tak těla nástroje korozivzdorná ocel 1.4301 popsaná v kapitole Návrh komorového výstružníku.

Montáž a příprava nástroje k činnosti je složena z několika kroků počínaje vložením břitové destičky do lůžka držáku a následným osazením hlavičky, která dosedá na VBD. Utahovací šroub dotlačuje čelní díl nástroje na destičku a současně spojuje všechny díly do jednoho celku.



Obr. 10 Konstrukční návrh nástroje pro řezání drážek vývrtu hlavně, (zdroj: vlastní grafika)

3.2.3 Výroba nástroje pro zhotovení drážek vývrtu hlavně

V první fázi výroby bylo třeba vybrousit přesný tvar břitové destičky v setinové přesnosti. Dosažení takto vysoké přesnosti bylo žádoucí, z důvodu velmi malé hloubky drážky vývrtu hlavně Coltů 1911. Tato hloubka je stanovena jako polovina z rozdílu průměru drážkovaného vývrtu a průměru pole což odpovídá hodnotě 0,1mm. Polotovarem pro výrobu VBD byla čtvercová tyč o straně 15mm s tloušťkou 4mm z kalené rychlořezné oceli 19 810. Tato ocel se vyznačuje velkou odolností proti opotřebení a schopností obrábět materiály o pevnosti až 900 MPa. Tvrdost v zakaleném stavu dosahuje 66 – 67 HRC.

Tab. 3 Tabulka chemického složení a mechanických vlastností RO 19 810 [19]

Chemické složení [hm. %]								
C	Mn	Si	P	S	Cr	W	Mo	V
1,20-1,35	max. 0,45	max. 0,45	max. 0,035	max. 0,035	4,00-4,80	10,0-12,0	max. 0,50	3,60-4,50
Mechanické vlastnosti (stav: kalený a popuštěný)								
D [mm]		Tvrdost HRC		R _m [MPa]		R _{et0,2} [MPa]		
20		66 – 67		3200		3400		

Břítová destička byla za účelem dosažení vysoké tuhosti navržena s upínacím otvorem ve svém středu. Toto konstrukční řešení však znemožňovalo použití běžných vyvrtávacích nástrojů z důvodu vysoké tvrdosti polotovaru. Vrtání ve vyžíhaném stavu nepřicházelo v úvahu, neboť tepelné zpracování oceli a s tím spojené zařizování nebylo z pohledu kusové

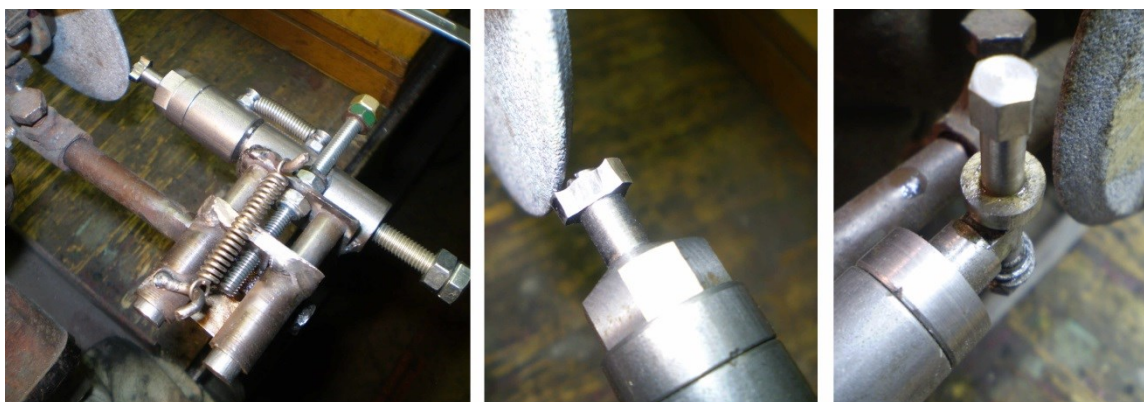
výroby možné. Bylo se třeba poohlédnout po nástrojích převážně ze slinutého karbidu, které by zvládly zhotovit otvor do takto tvrdého materiálu. Pořizovací cena SK vrtáku s AlTiN povlakem schopného vrtat otvory do oceli tvrdosti 65 HRC což je mimochodem pod hranicí oceli 19 810 byla přibližně 550Kč. Taková cena byla už jen z důvodu nejistého výsledku docela zklamáním.

Dalším nástrojem potenciálně vhodným pro vrtání do takto tvrdého materiálu byl vrták německého výrobce ARTU. Hlavní ostří nástroje tvoří patentovaná destička ze slinutého karbidu odolávající teplotě až 1100°C. Tento typ vrtáků je přímo určen pro vrtání do zakalených ocelí, trezorů apod. Jeho pořizovací cena je nesrovnatelně nižší ve srovnání s výše uvedeným vrtákem a činí pouze 41 Kč u průměru 4mm.

Vrtákem ARTU byl otvor do zakaleného polotovaru úspěšně vyvrtán bez sebemenších známek poškození či otupení břitu nástroje. Po zhotovení otvoru byl čtvercový tvar polotovaru ručně vybroušen do nedokonalého kruhu. V následující fázi výroby bylo zapotřebí z takto před chystaného materiálu vybrousit dokonalý kruh o průměru $11,43 \pm 0,01\text{mm}$.

Za tímto účelem byl navržen a vyroben přípravek s možností upnutí na kotoučovou brusku umožňující zhotovit jak kruhový polotovar destičky tak posléze i její finální podobu. V rámci výroby jednoho kusu VBD nebyl kladen přílišný důraz na designovou stránku přípravku, ale spíše na jeho funkčnost a jednoduchost při výrobě.

Samotný přípravek se skládá ze dvou nezávislých posuvů umožňujících nastavit ideální polohu broušeného materiálu vůči brusnému kotouči. Ovládání přípravku je realizováno prostřednictvím šroubů a tažných pružin, které vrací pracovní část do výchozí polohy. K přípravku byly rovněž navrženy a zkonstruovány dvě vyměnitelné hlavice, z čehož byla první určena pro radiální broušení destičky a druhá pak pro axiální. Obě hlavice disponují ovládacími prvky pro natáčení broušeného polotovaru.



Obr. 11 Přípravek pro vybroušení tvaru VBD + detail výměnných hlavic, (zdroj: vlastní fotografie)

Broušení kruhového tvaru břitové destičky probíhalo na přípravku osazeném radiální hlavici. Ovládacím šroubem byla nastavena hloubka broušení a pomocí upínacího šroubu destičky bylo provedeno otočení polotovaru o 360° čímž došlo k rovnoměrnému úběru materiálu po celém obvodu obrobku. Tento postup byl opakován tak dlouho, než průměr destičky dosáhl požadované hodnoty. Mezi jednotlivými úběry bylo prováděno kontrolní měření pomocí třmenového mikrometru. Výhodou přípravku byla možnost nastavení sklonu obrobku k brusnému kotouči. Prováděly se tak v podstatě dva kroky současně a to broušení na konečný průměr za současného vytvoření podbroušeného hřbetu zubu.

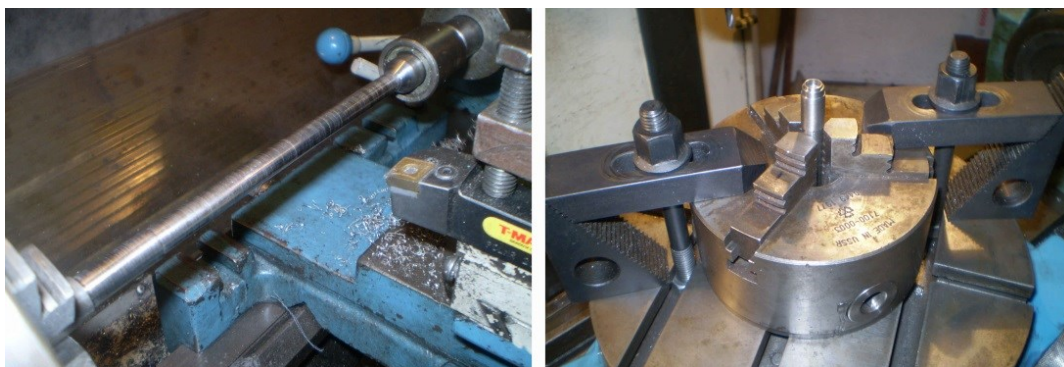
Další úsek výroby se již zaměřoval na výrobu konečného tvaru VBD. Toto broušení bylo rovněž prováděno na radiální hlavici, kde byl za pomoci tvarového kotouče zhotovován tvar podobný trojúhelníku. U této operace se dbalo především na dodržení přesné šířky každého z břitů. Po vybroušení tvaru destičky byl celý přípravek nakloněn o úhel 6° a podbrušovaly se boky zubů. Pro provedení poslední operace byla destička pře-upnuta do axiální hlavy, která umožnila vytvořit pozitivní geometrii na čele břitové destičky.



Obr. 12 Postup výroby VBD, (zdroj: vlastní fotografie)

Dalším dílem určeným k výrobě bylo tělo (držák) nástroje. Polotovarem pro jeho výrobu byla kruhová tyč o průměru 12mm. V první řadě bylo třeba z výchozího polotovaru vytvořit vnější tvar tvořený stopkou o průměru 10mm, vodícím segmentem a čelem ze kterého v pozdější fázi výroby vznikne lůžko břitové destičky.

Zhotovení vnějšího skeletu probíhalo na soustruhu, kde byl polotovar upnut do sklíčidla a jeho opačná část byla podepřena koníkem. Zvýšenou rozměrovou kontrolou pak procházela vodící část a čelo nástroje. Po dokončení vnějšího tvaru byl obrobek znovu upnut tentokrát za již dokončenou stopku nástroje a čelo držáku bylo opatřeno otvorem o průměru 3,3mm pro následné vytvoření vnitřního závitu M4. Následující část výroby se přesunula na frézku osazenou otočným stolem a univerzálním sklíčidlem. V této fázi výroby bylo třeba zhotovit lůžko pro VBD. Otočný stůl umožnil vždy optimální natočení vzhledem k souřadnému systému stroje. Jelikož se obráběla korozivzdorná ocel frézou malého průměr, bylo třeba nastavit malou hloubku odebírané třísky, konkrétně dosahovalo ap jednoho milimetru.



Obr. 13 Soustružení držáku (vlevo), frézování lůžka VBD (vpravo), (zdroj: vlastní grafika)

Třetí a poslední částí nástroje na zhotovení drážek vývrtu hlavně je náběhová a vodící hlavička, pro jejíž výrobu byl navržen polotovár kruhového průřezu o průměru 12mm. První operací po sražení čela bylo vrtání díry průměru 4mm, která byla následně zvětšena vrtákem o průměru 7,1mm do hloubky 5,5mm. Takto vzniklé uložení slouží pro ukrytí hlavy utahovacího šroubu s vnitřním šestihranným vybráním. V pořadí další technologický úsek soustružení měl vytvořit vnější specifický tvar hlavičky. Zde se stejně jako u držáku dbalo na dodržení předepsaných rozměrů, jelikož je i tato část nástroje zodpovědná za jeho bezchybné vedení v předvrtaném otvoru hlavně. Po kontrole správnosti rozměru následovalo pře-upnutí obrobku a zhotovení otvoru s plochým dnem. Otvor o průměru 8mm byl zhotoven rohovou frézou pro docílení plochého dna.

Konečná část výroby se přesunula opět na frézku, tentokrát však osazenou dělicím zařízením, do kterého byl obrobek upnut. Pomocí tzv. děličky byly do obvodu hlavy vyfrézovány 3 drážky natočené vůči sobě o úhel 120° pro dočasné uchování třísky během řezání drážek vývrtu. Hloubka frézovaných drážek byla dle konstrukčního návrhu stanovena na 2,8mm.

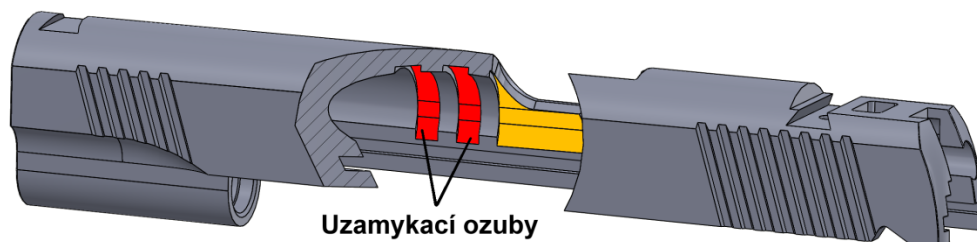


Obr. 14 Nástroj na zhotovení vývrtu (vlevo), zhotovený vývrt (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Zhotovený vývrt je také částečně viditelný v řezu hlavní, jenž je vyobrazený na obrázku č. 4.

3.3 Nástroj pro obrobení uzamykacích ozubů

Pro vytvoření uzamykacích ozubů v závěru zbraně, bylo rovněž třeba navrhnout a zkonstruovat vlastní obráběcí nástroj. Závěr Coltu 1911 disponuje dvěma drážkami o šířce 4,52mm do kterých zapadají přesné protikusy umístěné na hlavní téže pistole. Systém uzamykacích ozubů se stará o to, aby byl závěr při výstřelu uzamknut s hlavní do jednoho pevného celku. Tomuto konstrukčnímu řešení se rovněž říká uzamčený systém závěru. [20]

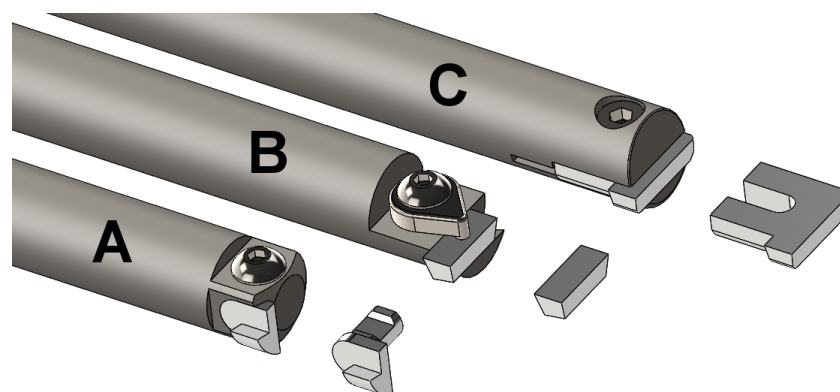


Obr. 15 Uzamykací ozuby závěru pistole Colt 1911 znázorněny červeně, (zdroj: vlastní grafika)

3.3.1 Návrh nástroje na zhotovení uzamykacích ozubů

Vzhledem k umístění a poloze ozubů, jež se nacházejí přibližně ve středu závěru, nebylo umožněno použití běžně dostupných obráběcích nástrojů, jakými jsou např. T-frézy. Tyto frézovací nástroje disponují příliš krátkou stopkou, díky níž se ostří frézy nedostane do požadované hloubky. Zhotovení drážek je u tohoto dílu možné pouze z jeho čelní strany, kde je součást opatřena otvorem o průměru 17,8mm. Krom ozubů je na vnitřní straně závěru podél vyhazovací komory ještě jedna podstatně delší drážka (29,39mm), která slouží jako ustavovací základna hlavně. Její umístění a přibližný tvar, který mimochodem odpovídá tvaru ozubů, je zvýrazněn na obrázku č. 15 žlutou barvou.

Při návrhu vhodného obráběcího nástroje byl kladen zvýšený důraz na tuhost nástrojového systému z důvodu jeho velkého vyložení, potřebného pro zhotovení popisovaných drážek. Počáteční návrh byl zaměřen na nástroj s oddělitelnou řeznou částí, což představovalo samostatnou stopku v kombinaci s vyměnitelnou břitovou destičkou doplněnou o upínací element (šroub). Celkem byla zhotovena 3 konstrukční řešení totožného nástroje. Jednotlivé konstrukce se od sebe odlišovaly tvarem břitové destičky, způsobem jejího upnutí a tvarem lůžka v držáku VBD. Na obrázku č. 16 jsou vyobrazeny konstrukční návrhy všech 3 nástrojů, včetně břitových destiček osazených jak v držáku tak i mimo něj.

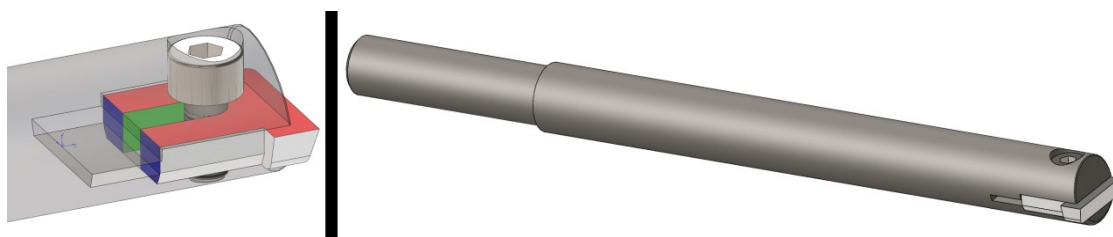


Obr. 16 Konstrukční návrhy nástrojů na vytvoření drážek ozubů, (zdroj: vlastní grafika)

První konstrukční návrh označený na obrázku č. 16 jako A byl díky systému uložení a zajištění břitové destičky považován za velmi tuhý a bezkonkurenční co se přesností týče. Hlavní nevýhodou tohoto řešení byla značně složitá konstrukce VBD a s tím spojená výroba jak samotné destičky, tak jejího lůžka. V době kdy už byl návrh tohoto nástroje rozpracován, byly přehodnoceny vstupní požadavky, podle kterých měl být nástroj nově schopen odebírat třísku i při jeho osovém pohybu, což vyžadovalo přítomnost ostří na jeho čele. Výrobci frézovacích nástrojů tuto funkci označují jako tzv. zavrtávání. V tomto případě se však jednalo jen o jakousi zjednodušenou variantu tohoto originálního řešení. Navrhované změny v řezné geometrii nástroje nastaly z důvodu změny technologie obrábění závěru zbraně, kdy bylo potřeba vytvořit ploché dno v otvoru vrtaném běžným vrtákem s vrcholovým úhlem 118° . První verze nástroje byla vzhledem k novým požadavkům zcela nevhodná pro případné úpravy, a proto se od tohoto konstrukčního řešení upustilo.

Nově specifikované parametry daly proto vzniknout v pořadí druhému a třetímu návrhu nástroje pro zhotovení drážek uzamykacích ozubů a vytvoření plochého dna vrtaného otvoru. Oba návrhy vznikaly současně s požadavkem na co možná nejjednodušší konstrukci VBD. Jedna z navrhovaných variant (obrázek č. 16 písmeno B) používala pro upnutí břitové destičky upínku podobnou té, jež se používá u soustružnických držáků NAREX se systémem upnutí ISO D. VBD u tohoto návrhu měla zkosenou spodní hranu, která jí zajišťovala spolehlivé ustavení ve směru středové osy nástroje a byla umístěna tak, aby splňovala podmínku částečného zavrtání. Výhoda tohoto řešení spočívala v jednoduchosti výroby celého nástrojového systému (držák, destička, upínka). Další výhoda vyplývala z již zmiňovaného ustavení VBD z pohledu zavrtávání nástroje. Hlavní nevýhodou, která měla za následek pozdější zrušení tohoto návrhu, byly nedostatečné upínací síly držící břitovou destičku na požadovaném místě při jejím radiálním zatížení.

Poslední konstrukční návrh (varianta C na obrázku č. 16) zohledňoval veškeré požadavky kladené na konstrukci nástroje a potlačoval nedostatky obou předchozích projektů. Tvar břitové destičky nového sestavení umožňuje díky její konstrukci adekvátní ustavení v držáku nástroje. Lůžko VBD a konstrukce jejího upnutí vymezuje spolehlivě 5 respektive 6 stupňů volnosti břitové destičky. I přesto že dosahuje upnutí břitu dostatečné tuhosti a stability, není konstrukce lůžka příliš složitá na výrobu. Jako hlavní upínací prvek byl použit šroub M4 s vnitřním šestihranným vybráním, který díky vytvořenému tření mezi držákem a VBD spolehlivě drží břit na požadovaném místě. Z důvodu dosažení co možná nejvyššího tření mezi komponenty nástroje je držák za lůžkem břitové destičky příčně proříznut, tak aby byla jeho spodní část patřičně přitlačena k VBD. Vedlejší ostří břitu je pak dostatečně přesazeno přes střed držáku, za účelem splnění podmínky zavrtávání nástroje. Obrázek č. 17 levá část, barevně odlišuje kontaktní plochy, které znázorňují odebírané stupně volnosti břitové destičky z aktuálního pohledu. Pravá strana obrázku uvádí podobu konečného návrhu obráběcího nástroje.



Obr. 17 Uložení VBD v lůžku držáku (vlevo), finální návrh nástroje (vpravo), (zdroj: vlastní grafika)

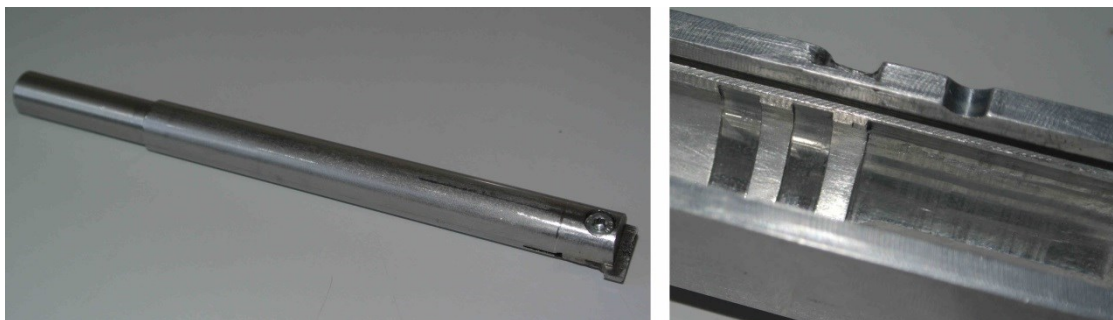
3.3.2 Výroba nástroje na zhotovení uzamykacích ozubů

Za účelem výroby držáku nástroje byl použit polotovar kruhového průřezu o rozměrech 14x172mm. Materiálem je stejně jako v případě nástroje na zhotovení vývrtu hlavně korozivzdorná ocel 1.4301. Polotovaru byla na soustruhu stočena čela, tak aby dosahoval délky 170mm. Následně byl na jednom konci obrobku zmenšen průměr na 12mm a to z důvodu upnutí nástroje do kleštiny rozměru 11-12. Pro zhotovení lůžka břitové destičky byl obrobek přemístěn na kotoučovou brusku, kde byla vybroušena drážka požadovaných rozměrů. Pro dosažení nižšího pnutí materiálu při upínání VBD byla úhlovou bruskou vytvořena úzká drážka do vzdálenosti 21mm od čela nástroje.

Další technologické úseky bylo třeba provést na univerzální frézce. V první řadě byl vyvrtán otvor pro šroub M4 a v horní části držáku zahhloubení pro jeho hlavu. Spodní část byla následně opatřena příslušným závitem. Poslední operací byla změna tvaru čela nástroje, které bylo třeba zkosit pod úhlem 8° za účelem lepšího odvodu třísek z místa řezu.

Pro břitovou destičku byla v návrhu zvolena rychlořezná ocel 19 810, jejíž chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce č. 3. Konstrukci břitové destičky lze vidět na obrázku č. 16 varianta C. Pro její výrobu byl použit polotovar s rozměry 15x15x4mm, u kterého byl v první řadě vybroušen vnější tvar destičky. Speciálním tvarovým kotoučem byla následně zhotovena upínací drážka pro upnutí VBD do lůžka držáku.

Dokončovací práce spočívaly v nabroušení řezné geometrie destičky jak na jejím hlavním tak vedlejším ostří. Na závěr bylo třeba podbrousit hřbety na obou řezných hranách za účelem snížení tření v místě úběru materiálu.



Obr. 18 Nástroj na zhotovení ozubů (vlevo), obrobené ozuby (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

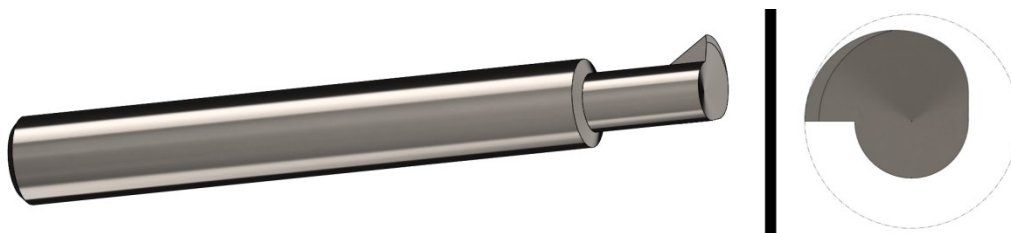
3.4 Úhlová fréza

Posledním nástrojem, který bylo třeba navrhnout a vyrobit byla úhlová fréza vhodná pro obrobení rybinových drážek nacházejících se na závěru pistole a obou zaměřovačích (muška, hledí). Čelní úhlové frézy jsou nabízeny mnoha dodavateli, žádný z nich však nemá ve své nabídce nástroj vhodných rozměrů. Rybinové drážky použité u závěru Coltu 1911 vyžadují frézu s vrcholovým úhlem 58° a maximálním řezným průměrem 8mm. Nejmenší běžně dostupný frézovací nástroj od firmy ZPS – Frézovací nástroje, a.s. disponoval řezným průměrem o velikosti 16mm s ostřím skloněným pod úhlem 60° . Firma DATRON – Technology s.r.o. má ve své nabídce nástroj odpovídajícího průměru s úhlem břitu 60° . Jeho cena je však z pohledu počtu zhotovovaných drážek nepřiměřeně vysoká a to konkrétně 1540 Kč. Nedostupnost nástroje s požadovaným úhlem břitu a zejména pak počet frézovaných drážek se zásadně podepsala na vzniku tvarově a rozměrově specifické uhlové frézy pro zhotovení rybinových drážek na pistoli Colt 1911.

3.4.1 Návrh a výroba úhlové frézy

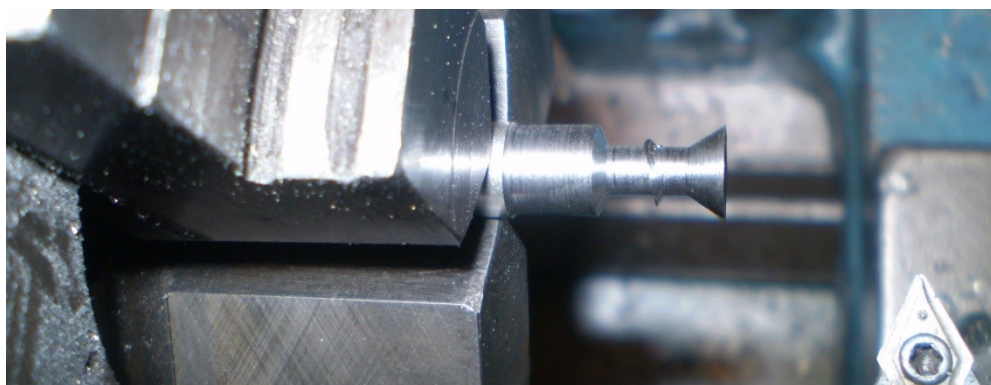
Konstrukce a výroba takové úhlové frézy není příliš složitá, jedná-li se o jednobřitou variantu nástroje. Fréza disponuje upínací stopkou o průměru 6mm, která se v její spodní části skokově zužuje na průměr 4mm a následně přechází do kuželového tvaru, jenž tvoří řeznou

geometrii nástroje. Čelo frézy má vydutý tvar z důvodu minimalizování tření v průběhu obrábění. Řeznou hranu s nulovým úhlem čela pak tvoří výbrus ve tvaru spirály nanesené na čelo nástroje.



Obr. 19 Konstrukční návrh úhlové frézy (vlevo), vpravo pohled z čela (zdroj: vlastní grafika)

Pro výrobu úhlové frézy byla jako u přechozích nástrojů zvolena korozivzdorná ocel 1.4301 dodaná v podobě kruhové tyče o průměru 8mm. Největší část technologických operací bylo navrženo pro univerzální soustruh, kde byla v první řadě vytvořena zúžená stopka s kuzelem pod úhlem 58° , který bude po vybroušení tvořit řeznou hranu nástroje. V navazující operaci byl obrobek opatřen upínací stopkou o průměru 6mm.



Obr. 20 Výroba úhlové frézy na univerzálním soustruhu, (zdroj: vlastní fotografie)

Takto vytvořený polotovár nástroje putoval na dělicí přístroj, kde mu byl zhotoven řezný břit umístěný přímo v jeho středu. Závěrečná fáze výroby byla zaměřena na odbroušení přebytečného materiálu v okolí řezné hrany nástroje. Díky takto provedené úpravě se stal již nástroj provozuschopným.



Obr. 21 Jednobřitá úhlová fréza (vlevo), obrobená drážka (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

4. Uvedení vyráběných dílů repliky zbraně

Následující část diplomové práce je věnována vyráběným komponentám zbraně, výběru vhodných dílů pro adekvátní srovnání konvenční a CNC technologie výroby a popisu materiálu, ze kterého jsou jednotlivé díly zkonstruovány.

4.1 Materiál k výrobě maket střelných zbraní

Pro výrobu pistolí Colt 1911 byla zvolena slitina hliníku s označením Al-Mg-Si. Tento materiál se jevil jako vhodná volba pro výrobu, neboť se kladně osvědčil při již dříve realizovaných projektech spojených s výrobou replik střelných zbraní.

Jedná se o hliníkovou slitinu, která díky obsahu hořčíku a křemíku vykazuje vyšší pevnost a současně disponuje výbornou mechanickou obrobiteľností, jež je u tohoto druhu výroby vyžadována. Slitiny typu Al-Mg-Si jsou vytvrditelné, dobře tvárné, svařitelné a jejich odolnost vůči korozi je velmi vysoká. Další z řady kladných aspektů u této slitiny je možnost aplikace povrchové úpravy tzv. eloxováním, kdy je požadovaný barevný tón „uzavřen“ ve svrchní vrstvě materiálu a je tak chráněn proti opotřebení. Slitinu lze rovněž rozleštit do vysokého až zrcadlového lesku. Je využívána především v letectví, strojírenství a pro součástky jemné mechaniky. [21], [22] Za účelem výroby byl zvolen konkrétní typ hliníkové slitiny s označením EN AW-6060 T66. Hlavní legující prvky (hořčík a křemík) jsou u tohoto typu zastoupeny v maximálním obsahu 0,60% hmotnosti. Celkové chemické složení této konkrétní slitiny je patrné z tabulky 4. Tepelné zpracování propůjčuje tomuto materiálu výborné mechanické vlastnosti, které jsou rovněž uvedeny v tabulce 4. Materiál byl pro účely výroby dodán ve formě průtlačně lisovaných profilů rozličných tvarů a délek.








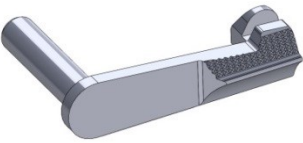
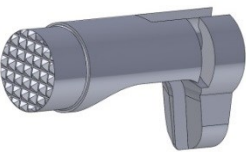

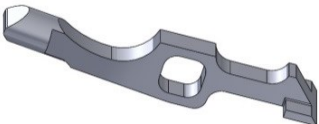
Tab. 4 Tabulka chemického složení a mechanických vlastností slitiny EN AW-6060 T66 [23]

Chemické složení – dle ČSN EN573-3 [hm. %]								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	ostatní
0,30-0,60	0,10-0,30	max. 0,10	max. 0,10	0,35-0,60	max. 0,05	max. 0,15	max. 0,10	max. 0,15
Mechanické vlastnosti – dle ČSN EN755-2								
Tloušťka e [mm]	R _e [MPa]		R _m [MPa]		Tažnost [%]		Tvrdost HB	
e ≤ 3	160		215		8		70	



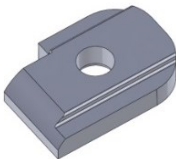
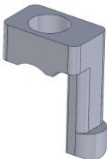
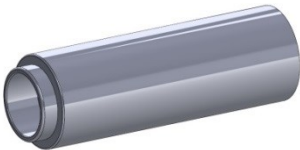


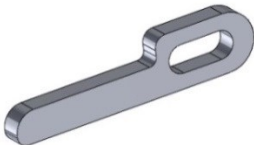

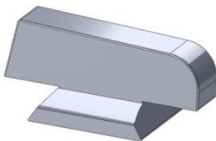
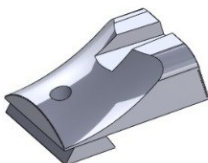
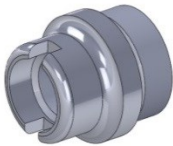
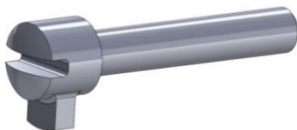
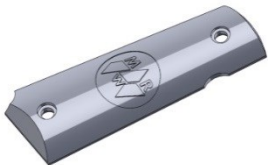


4.2 Souhrnný rozbor všech obráběných dílů Coltu 1911

Pistole Colt 1911 sestává celkem z 61 dílů. Pominou-li se pak neobráběné součástky jako pružiny, čepy, díly zhotovené z plechu či šrouby a stavěcí hroty je zbraň sestavena z 39 komponent. Za účelem přehlednosti je následující část kapitoly tvořena tabulkou, jejíž obsah je zaměřen na oněch 39 obráběných součástek, kde je u každé z nich uveden materiál použitý při výrobě a každá z komponent je doplněna o názornou 3D vizualizaci. Jelikož ne všechny díly mají korektní český překlad, jsou názvy všech součástek v tabulce uvedeny v anglickém jazyce.

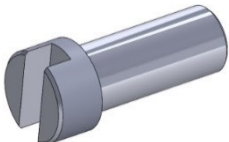
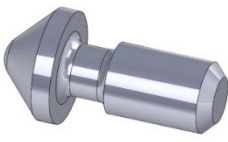

Tab. 5 Obráběné komponenty pistole Colt 1911, (zdroj: vlastní data)

Součástka	Materiál	Součástka	Materiál	Součástka	Materiál
Receiver	AW-6060	Slide	AW-6060	Barrel	AW-6060
					
Barrel bushing	AW-6060	Safety grip	AW-6060	Thumb safety	AW-6060
					
Hammer	AW-6060	Mainspring housing	AW-6060	Slide stop	AW-6060
					
Magazine catch	AW-6060	Trigger pad	AW-6060	Sear	AW-6060
					
Disconnecter	AW-6060	Ejector	AW-6060	Head guide	AW-6060
					

Tab. 5 – pokračování: Obráběné komponenty pistole Colt 1911, (zdroj: vlastní data)

Součástka	Materiál	Součástka	Materiál	Součástka	Materiál
Rod guide	AW-6060	Plunger tube	AW-6060	Firing pin stop	AW-6060
					
Firing pin block	AW-6060	Recoil spring plug	AW-6060	Thread barrel cover	AW-6060
					
Extractor	1.4301	Firing pin	1.4301	Push rod	AW-6060
					
Hammer strut	AW-6060	Front sight	AW-6060	Rear sight	AW-6060
					
Grip screw bushing	1.4301	Magazine catch lock	1.4301	Magazine base pads	AW-6060
					
Right grip	AW-6060	Left grip	AW-6060	Barrel link	AW-6060
					
Slide stop plunger	1.4301	Thumb safety plunger	1.4301	Mainspring cap	1.4301
					

Tab. 5 – pokračování: Obráběné komponenty pistole Colt 1911, (zdroj: vlastní data)

Součástka	Materiál	Součástka	Materiál	Součástka	Materiál
Mainspring cap pin	1.4301	Mainspring pin retainer	1.4301	Mainspring housing pin	1.4301
					

4.3 Komponenty určené pro srovnání obou technologií výroby

Vzhledem k velkému množství obráběných komponent, jimiž pistole Colt 1911 disponují, byly za účelem srovnání výroby na konvenčních a počítačem řízených strojích vybrány stěžejní a rozměrově příhodné součásti.

Základním kamenem zbraně je její rám (anglicky receiver), který je bezesporu nejsložitějším dílem celé pistole a z pohledu výrobních časů se tak jedná o nejvhodnější součástku pro srovnání obou technologií výroby. Složitost rámu je přímo spjata s mechanikou zbraně, kde má každá součástka své přesné umístění vztahující se jak k rámu samotnému tak k ostatním součástkám mechanismu. Rovněž je největší část komponent pistole montována přímo na receiver a je tak žádoucí, aby díl splňoval rozměrové a tvarové předpoklady.

Z pohledu složitosti je v závěsu za tímto dílem závěr zbraně neboli slide. Tato součást vyniká svojí tvarovou složitostí a to jak zevnitř tak i zvenčí. Slide je na své vnitřní straně opatřen uzamykacími ozuby, pro jejichž zhotovení byl navržen speciální obráběcí nástroj. Svrchní strana dílu pojímá krom specificky zakřivené plochy také dvě rybinové drážky pro osazení vhodných zaměřovacích prvků. Rozměrová přesnost je u tohoto dílu klíčová, jelikož je závěr opatřen vedením, které přímo dosedá na patřičný protikus na rámu zbraně.

Posledním rozměrově přijatelným dílem pro srovnání obou technologií byla hlaveň pistole. Originální hlavně pistolí disponují drážkovaným vývrtem, který však není v dostatečné kvalitě možné zhotovit na konvenčních obráběcích strojích. Nabízela se tak ideální možnost využít NC soustruh a vývrt hlavně obrobit s pomocí speciálního nástroje. Další specifikou, se kterou jsou hlavně ztotožňovány, je nábojová komora, která se zhotovuje za pomoci komorového výstružníku daného rozměru potažmo ráže. Vnější povrch hlavně dále obsahuje uzamykací ozuby a pojistnou část, která drží hlaveň v rámu pistole na požadovaném místě.

V příloze B této práce bude uveden souhrn vyrobených nástrojů, vybraných dílů pistole a přípravků potřebných pro jejich úspěšné zhotovení na počítačem řízených obráběcích strojích.

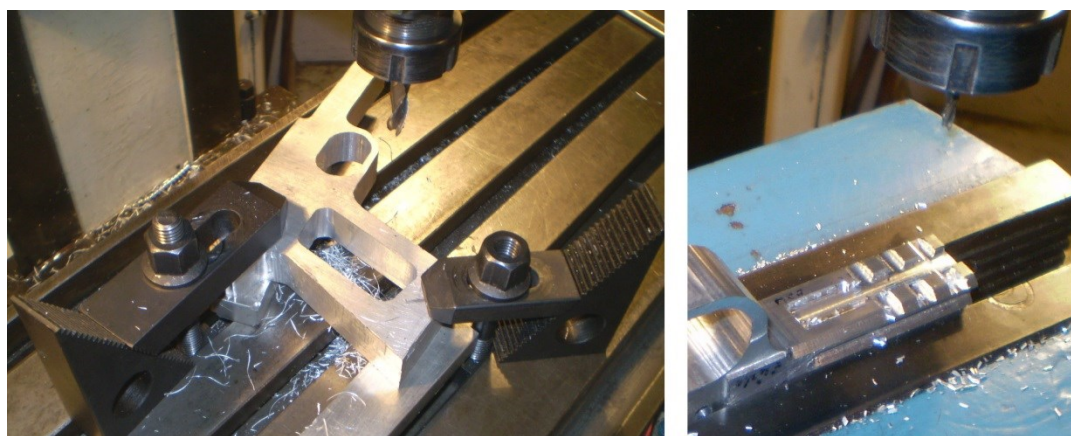
5. Rozbor stávající technologie výroby vybraných komponent Coltu 1911

Stávající (konvenční) technologii výroby byly zhotoveny veškeré díly mechanismu a většina drobných součástek u obou konstruovaných replik pistolí. Výrobu takto malých dílů, není ani možné seriózně porovnat s CNC technologií a to především z kapacitních důvodů a rovněž kvůli jejich minimálním rozměrům, jejichž upnutí by vyžadovalo speciální upínací zařízení. Vizí však bylo představit oba dokončené Colty 1911 a proto byla výroba takto drobných součástek ponechána konvenčním obráběcím strojům. Následující kapitola je tak věnována rozboru výroby již zmíněných stěžejních dílů zbraně (rám, závěr, hlaveň) pomocí stávající technologie výroby.

5.1 Rám zbraně – receiver

Stěžejním dílem pistole je její rám. V případě Coltu 1911 je rám řešen jako ucelená součást pojímající veškerou mechaniku zbraně a na níž jsou nasazeny ostatní komponenty pistole. Celá součást je obrobena z jednoho kusu hliníkového profilu o rozměrech 150x30mm s délkou 200mm. V první řadě byl z obdélníkového tvaru polotovaru odřezán jeden z rohů o stranách 120x120mm za účelem snížení strojního času frézování takto velké masy materiálu.

V návaznosti na tuto úpravu byl polotovar upnut na frézku za účelem redukce tloušťky polotovaru o 4,4mm z obou stran. Následně byl na polotovar orýsován vnější tvar rámu a spolu s ním přeneseny rozteče stěžejních otvorů pro mechaniku zbraně. Dalším krokem bylo odfrézování přebytečného materiálu za účelem dosažení hrubého tvaru rámu zbraně. Ve stejné fázi výroby byl vytvořen lučík a kapsa pro spoušť, rovněž pak i kapsa pro odlehčení rámu v oblasti šachty zásobníku. Následujícím technologickým úsekem bylo vrtání předem naznačených otvorů na stojanové vrtačce. Výroba se poté opět přesunula na univerzální frézku, kde bylo ze součásti z obou stran ubráno 0,9mm. V dalším kroku bylo třeba zhotovit Picatinny lištu na přední straně rámu.



Obr. 22 Hrubování rámu (vlevo), zhotovená Picatinny lišta (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Její výroba byla rozdělena na dva technologické úseky a to frézování T-frézou kolmo k obráběné drážce a v úseku navazujícím byly sraženy hrany této drážky pomocí 45° úhlové frézy. Ukončení drážky úhlovou frézou bylo z pohledu ruční obsluhy poměrně složité, neboť bylo zapotřebí sdružit dva posuvy ($x + z$) ve správném poměru vůči sobě, tak aby se sražení drážky pozvolna vytratilo.

Obrobek byl dále pře-upnut dnem vzhůru, tak aby bylo možné dokončit příčné zářezy na Picatinny liště. T-frézou bylo dále zhotoveno vedení neboli saně pro pozdější montáž závěru zbraně. Zde byl kladen důraz na rozměrovou přesnost, jelikož se musí po sobě tyto součásti posouvat, ale nesmí vykazovat příliš velkou vůli v tomto vedení. Výroba dále pokračovala zeštíhlením lučíku z původních 19,35mm na 9,32mm a díky tomuto kroku bylo následně možné vybrousit vnější tvarové plochy hmatových částí rámu spolu s vnějšími i vnitřními plochami lučíku.

Obrobek byl za účelem dalšího opracování upnut do svěráku, tak aby bylo možné vyhrubovat otevřenou kapsu v přední části dílu určenou pro vodící trn vratné pružiny. Takto vyhrubovanou kapsu bylo následně třeba dokončit stopkovou frézou, jejíž osa svírala s čelem U-drážky úhel 90°. Stojanovou vrtačkou byl pak na dně této drážky vyvrtán otvor o průměru 11,2mm, jehož horní hrana byla následně sražena pod úhlem 45°. Pomocí válcové frézy malého průměru byl tento otvor v jeho horní části profrézován, tak že vzniklá drážka vytvořila uložení pro montáž hlavně. Oblé hrany drážky stejně jako dno kuželového tvaru (vytvořené vrtákem) bylo třeba řádně odstranit mikro bruskou osazenou tvrdokovovou frézíčkou v kombinaci s ostrým pilníkem. Pod úhlem 17,5° byla dále vyhrubována šachta zásobníku, jejíž dokončení představovalo vytvoření ostrých hran jedné z užších stran šachty.



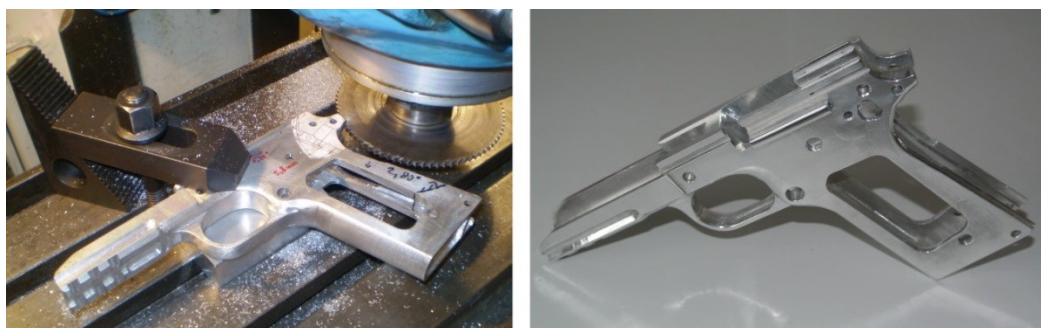
Obr. 23 Frézování šachty zásobníku (vlevo), kapsa mechaniky (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

V tomto okamžiku se výroba přesunula na zadní stranu rámu, kde byla nejdříve vytvořena kapsa pro mechaniku zbraně a v návaznosti na tento úsek byly zhotoveny požadované vedení

a uložení pro jednotlivé součástky mechanismu. Zde byly využity nástroje jako T-fréza či pilový list z rychlořezné oceli. Rám pistole byl následně opatřen zbylými otvory pro uložení konkrétních dílů bicího ústrojí.

V navazující části výroby bylo ještě zapotřebí odebrat materiál pro osazení spouště zbraně. Tento úkon však nebylo možné provést na stroji, jelikož drážka, kterou bylo třeba zhotovit, se nacházela příliš hluboko a nebyla tak dostupná pro žádný z obráběcích nástrojů. Bylo ji tak třeba vytvořit ručně za pomoci ostrého pilníku.

Závěrečná fáze výroba byla zaměřena na dokončení finálního tvaru rámu a zhotovení metrických závitů M6 pro pozdější montáž speciálních šroubů umožňujících připevnění střenek na rám pistole. Povrchovou úpravou vnějších ploch rámu bylo leštění na kotoučové brusce osazené látkovým kotoučem s využitím speciální leštící pasty.



Obr. 24 Obrábění pilovým listem (vlevo), dokončený rám (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Při výrobě na konvenčních strojích byl kladen velký důraz na důkladné zaznamenávání strojních časů během obrábění jednotlivých komponent zbraně. Rovněž byly důkladně zaznamenávány počty pře-upnutí u každé z vyráběných součástí. Následující tabulka uvádí jednotlivé naměřené strojní časy v průběhu výroby rámu zbraně, včetně celkového počtu upnutí, která byla třeba realizovat pro dokončení tohoto dílu.

Tab. 6 Strojní časy obrábění rámu + počet realizovaných upnutí, (zdroj: vlastní data)

Úsek obrábění	Operace obrábění	Strojní čas
		[min]
Úprava rozměrů polotovaru	frézování	36,7
Hrubování tvaru rámu	frézování	61,7
Dokončování tvaru rámu	frézování	50,5
Vrtání otvorů	Vrtání	11,6
Úprava rámu	frézování	28,6
Picatinny lišta + vodící drážky závěru	frézování	32,9
Úprava rámu	frézování	32,8
Kapsa vodícího trnu vratné pružiny	frézování	33,9

Tab. 6 – pokračování: Strojní časy obrábění rámu + počet realizovaných upnutí, (zdroj: vlastní data)

Úsek obrábění	Operace obrábění	Strojní čas
		[min]
Hrubování šachty zásobníku	frézování	56,1
Kapsa pro mechaniku zbraně	frézování	29,6
Obrábění uložení pro mechaniku	frézování	44,3
Vodící drážky spouště	frézování	16,6
Úprava rámu	frézování	12,3
Celkový strojní čas výroby rámu pistole		447,6
Počet realizovaných upnutí	71	

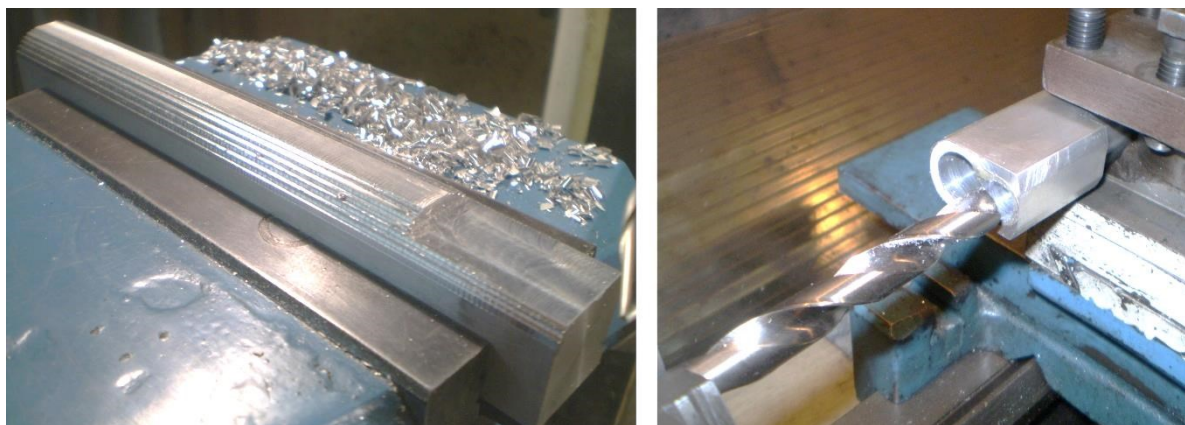
5.2 Závěr zbraně – slide

Druhým konstrukčně nejsložitějším dílem zbraně je její závěr. Tento díl se stará o patřičné ustavení hlavně během výstřelu, zajišťuje zavedení náboje do hlavně pistole stejně tak jako vyhození prázdné nábojnice. Dále pak disponuje uložením pro úderník, vyhazovač a řadu dalších převážně pojistných komponent zbraně.

Pro výrobu závěru byl navržen polotovár kruhového průřezu průměru 50mm a délky 190mm. První technologický požadavek spočíval ve zhotovení otvoru průměru 17,75mm s délkou 124,2mm na jednom z čel polotovaru. Tento úsek výroby byl proveden na univerzálním hrotovém soustruhu. Obrobek byl následně přenesen na univerzální frézku, kde z něj bylo odfrézováno poměrně velké množství materiálu za účelem vytvoření dvou rovnoběžných ploch vzdálených 23,27mm od sebe s vyvrtaným otvorem uprostřed. Takto vytvořený obrobek byl upnut do svěráku, kde následně proběhl další úběr materiálu pro dosažení plochého dna součásti. Při frézování dna bylo třeba ponechat přední část dílu o délce 43,1mm neobrobenou. Z této části závěru bude v pozdější fázi výroby zhotoveno uložení vratné pružiny. Otočení obrobku neopracovanou stranou vzhůru umožnilo nahrubovat vnější tvarovou plochu součásti, která je vůči spodní již obrobené ploše nakloněna o úhel 0,5°. Při opětovném vyrovnaní dílu do vodorovné pozice bylo pak umožněno obrobit plochu v jeho zadní části, jejíž další opracování bude následovat později.

Další část výroby byla poněkud neortodoxní, jelikož bylo třeba vyvrtat otvor z čela obrobku. To by samo o sobě nebyl problém, leč bylo zjištěno, že délka obrobku spolu s minimálně vyloženým vrtákem přesahují pracovní prostor jak stojanové vrtačky, tak i vertikální frézky. Proto se přistoupilo k netradičnímu kroku a součást byla upnuta do nožové

hlavy univerzálního soustruhu. Díl byl řádně vypodložen, tak aby se střed obrobku nacházel v ose vřeten. Do sklíčidla byl upnut adekvátní vrták a součást byla pomocí příčného suportu nastavena do požadované pozice, která odpovídala vzdálenosti 16,1mm od středu otvoru zhotoveného na počátku samotné výroby. Za pomoci podélného suportu soustruhu byl pak požadovaný otvor zhotoven.



Obr. 25 Před-hrubovaná tvarová plocha (vlevo), vrtání otvoru na soustruhu, (zdroj: vlastní fotografie)

Mezi těmito dvěma otvory z čela součásti byla frézováním odstraněna příčka, jež oba otvory oddělovala. Takto vznikl prostor pro zhotovení T-drážky, jejíž linie se táhla mezi oběma otvory a tvar drážky tak připomínal písmeno C. Díl byl následně pře-upnut ve svěráku do vodorovné pozice dnem vzhůru za účelem hrubování tvarové plochy kolem menšího otvoru z čela součásti.

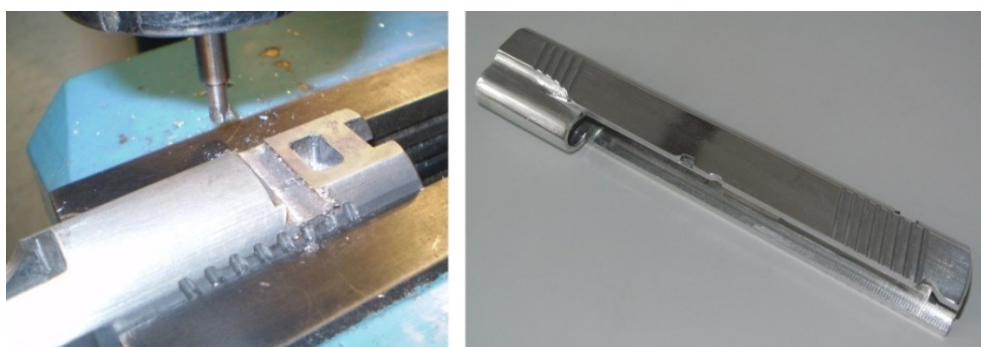
V navazující části výroby bylo třeba vytvořit vedení na závěru pistole. Při obrábění vodících lišt byl kladen důraz na rozměrovou přesnost v návaznosti na zhotovené vedení u rámu zbraně. Následujícím technologickým úsekem bylo dokončení před-hrubovaných ploch za pomoci pásové brusky. Po provedeném broušení bylo možné zhotovit uzamykací ozuby na vnitřní straně závěru. K tomuto kroku byl použit speciálně navržený obráběcí nástroj. Pomocí pilového kotouče byly následně vytvořeny drážky ze spodní strany dílu umožňující průchod komponent mechaniky pistole.

Další úsek výroby se zaměřoval na vyvrtání dvou otvorů pro pozdější montáž vyhazovače a úderníku. Nejprve bylo zapotřebí zhotovit průchozí otvor pro vyhazovač prázdných nábojnic. Po jeho zhotovení byla na zadní části závěru vyfrézována průchozí kapsa následně opatřená T-drážkou z obou jejích stran. V tomto okamžiku bylo umožněno vytvořit druhý z plánovaných otvorů na zadní straně součásti. Díra pro úderník byla dvoustupňová, tzn. že bylo nutné nejdříve zhotovit menší část otvoru pro špičku úderníku vrtákem o průměru 2,4mm. Vrtalo se do hloubky 55,5mm prodlouženou variantou vrtáku z rychlořezné oceli

legované 5% kobaltu. Průměr tohoto otvoru byl do hloubky 49mm rozšířen na hodnotu 5,6mm. Obě vrtané díry byly vůči referenční rovině obrobku skloněny o úhel 0,4°.

Obrobek byl následně upnut do vodorovné polohy pro možnost zhotovení rybinových drážek na horní straně součásti. Poté byl přemístěn na sklopně otočný svěrák, kde bylo obrobno vyhazovací okénko závěru. Jakmile byla komponenta demontována ze svěráku, upnula se přímo na stůl obráběcího stroje, tak aby bylo možné postupně zhotovit hmatníkové drážky na obou stranách závěru.

Poslední úpravou bylo pak vytvoření tvarové plochy na zadní straně součástky navazující na obdobný tvar u rámu pistole. Finální úprava spočívala ve vyleštění závěru do vysokého lesku obdobně, jako tomu bylo u rámu zbraně.



Obr. 26 Obrábění rybinové drážky (vlevo), dokončený závěr (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Tab. 7 Strojní časy obrábění závěru pistole + počet realizovaných upnutí, (zdroj: vlastní data)

Úsek obrábění	Operace obrábění	Strojní čas
		[min]
Zarovnání obou čel polotovaru	soustružení	10,9
Vrtání otvoru Ø17,75mm	vrtání na soustruhu	18,6
Hrubování tvaru obrobku	frézování	61,1
Úprava závěru	frézování	58
Frézování vodících drážek	frézování	24,1
Úprava závěru	frézování	71,5
Frézování uzamykací T-drážky	frézování	12,2
Úprava závěru	frézování	18,4
Zhotovování hmatníkových drážek	frézování	43
Úprava závěru	frézování	19,6
Obrábění uzamykacích ozubů	frézování	62,3
Celkový strojní čas výroby závěru pistole		399,7
Počet realizovaných upnutí	42	

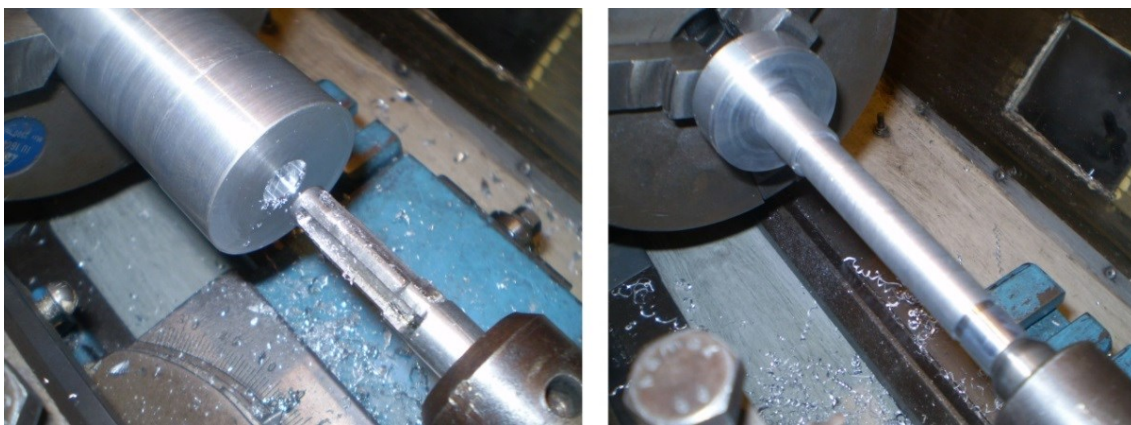
5.3 Hlaveň zbraně – barrel

Jako další komponenta vhodná pro srovnání technologií výroby je bezesporu hlaveň pistole. Jedná se o třetí rozměrově největší součást Coltu 1911. Polotovarem pro její výrobu byl průtlačně lisovaný hliníkový profil kruhového průřezu o průměru 50mm.

Jako vůbec první operací při výrobě hlavně bylo zkrácení polotovaru na požadovanou délku 145mm. Tomu byla následně na hrotovém soustruhu zarovnána obě řezaná čela a v jeho ose byl zhotoven otvor průměru 11,2mm tvořící elementární vrtání hlavně. Do obrobku upnutého ve sklíčidle soustruhu byla dále vytvořena nábojová komora za pomoci již dříve zkonstruovaného komorového výstružníku. Průměr polotvaru byl zredukován z původních 50mm na přibližně 47mm za účelem zasunutí obrobku hlouběji do sklíčidla, jehož průměr vnitřního otvoru činil pouze 48mm. Docílilo se tak stabilnějšího upnutí, nežli v případě kdy dílec držely pouze čelisti sklíčidla.

V okamžiku kdy se docílilo stabilnějšího upnutí, bylo možné stočit část obrobku ze strany nábojové komory z původních cca 47mm na 18,5mm. Délka takto obrobené plochy činila 10,3mm. V této fázi výroby bylo třeba součást otočit a upnout za právě zhotovenou plochu, čímž byla zpřístupněna zbylá část neobrobeného polotovaru. Pro docílení požadované souososti s obráběcím strojem byla volná část obrobku podepřena rotačním hrotem zasazeným v koníku soustruhu.

První úsek u tohoto upnutí se zaměřoval na odebrání přebytečného materiálu na délce 117,65mm od čela obrobku. Obrobený průměr dosahoval hodnoty 17,68mm. Krokem následujícím bylo tento průměr ještě snížit na přesný rozměr 14,73mm při délce 91,3mm. V oblasti ústí hlavně bylo třeba vytvořit plochu vhodnou pro řezání závitu velikosti M14. Proto byla tato plocha upravena na konečný průměr 14mm, jejíž konec byl dále zúžen o další 3 desetiny na poloměr z důvodu výběhu plánovaného závitu. Tímto úsekem byly dokončeny všechny úpravy prováděné na soustruhu.



Obr. 27 Zhotovení nábojové komory (vlevo), upnutí obrobku (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Obrobek se přesunul ze sklíčidla do svěráku, kde byla předchystaná plocha u ústí hlavně opatřena metrickým závitem jemného stoupání velikosti M14. Po řezání závitu závitovým očkem byla součást upnuta do sklíčidla dělicího zařízení osazeného na stole univerzální frézky. Zbylý materiál z předešlých operací tvořící prstenec průměru 47mm byl frézováním odstraněn, tak aby vznikla patka hlavně sloužící pro její ustavení a upnutí v rámu pistole. Rovněž byl do patky vyvrtán montážní otvor pro zasazení čepu. Díl byl následně pře-upnut přímo na stůl frézky, kde se za pomoci pilového kotouče prořezala drážka tloušťky 3,5mm do této právě zhotovené patky.

Po dokončení patky hlavně byla součást opět upnuta do dělicího zařízení, s jehož pomocí byly na horní straně válcové plochy vyfrézovány drážky uzamykacích ozubů. Obrábění těchto drážek bylo dosti náročné z pohledu ručního ovládání posuvů stroje, kde bylo zapotřebí sdružit „zetovou“ osu posuvu s rotační C osou dělicího zařízení, neboť zhotovované drážky vybíhají pod osou hlavně mimo oblast obrobku.

Závěrečným úsekem výroby bylo obrobení čela nábojové komory, kde se pomocí stopkové frézy odebralo 3,78mm materiálu a vzniklo tak místo pro drážku nábojnice.



Obr. 28 Obrobené drážky ozubů (vlevo), vyleštěná hlaveň (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Tab. 8 Strojní časy obrábění hlavně pistole + počet realizovaných upnutí, (zdroj: vlastní data)

Úsek obrábění	Operace obrábění	Strojní čas
		[min]
Vrtání otvoru Ø11,2mm	vrtání na soustruhu	11,6
Úprava rozměrů polotovaru na Ø47mm	soustružení	27,5
Vystružování nábojové komory	vystružování	2
Stáčení Ø17,68mm	soustružení	61,1
Dokončování rozměrů hlavně	soustružení	19,2
Hrubování patky hlavně	frézování	61
Dokončování patky hlavně	frézování	13,5
Zhotovování drážek uzamykacích ozubů	frézování	12
Dokončovací operace	frézování	8
Celkový strojní čas výroby hlavně pistole		215,9
Počet realizovaných upnutí	7	

6. Návrh nové technologie výroby vybraných komponent Coltu 1911

Za účelem srovnání výroby vybraných komponent pistole Colt 1911 byly tyto konkrétní součásti vyrobeny na adekvátních počítačem řízených strojích vlastněných katedrou Obrábění, montáže a strojírenské metrologie na Vysoké škole báňské – Technické univerzity Ostrava. CNC stroje zastřešovaly výrobu předem vybraných dílů zbraně a kromě toho také několika součástí, které by byly těžko ne-li přímo nezhotovitelné konvenčními metodami obrábění. Rovněž bylo cílem ověřit opakovatelnost produkce těchto strojů výrobou 14ti kusů nábojnic a projektilů ráže .45 ACP.

6.1 Rám zbraně – receiver

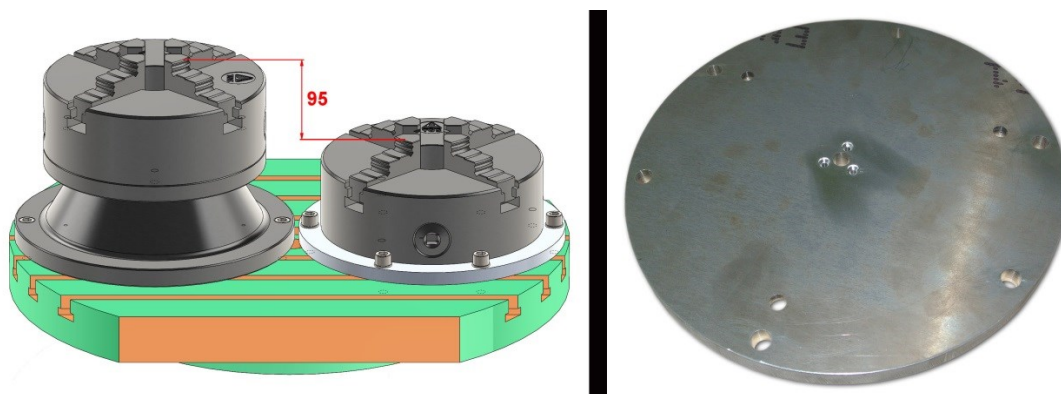
Při rozhodování jaký NC stroj použít pro výrobu rámu a později i závěru pistole se naskytla jedinečná příležitost oba tyto díly vyrobit na katedrou právě pořízeném 5ti-osém obráběcím centru DMU50 firmy DMG. Jelikož však bylo primárním cílem srovnat konvenční technologii výroby s blízkým ekvivalentem výroby na počítačem řízeném stroji, byl učiněn kompromis v podobě upřednostnění 3osého frézování, kdy ony zbylé 2 osy sloužily převážně pro indexování součástí během procesu obrábění. Bylo tak možno srovnat součásti vyrobené na běžných manuálně ovládaných strojích se špičkou mezi obráběcími centry vyhlášené společnosti Deckel Maho.

Poněvadž byla výroba dílů zbraně plánována krátce po pořízení obráběcího centra, nebyla na půdě katedry dostupná téměř žádná vhodná upínací zařízení. Prvním upínacím prvkem, objednaným konkrétně pro obrábění na novém stroji bylo univerzální čtyřčelist'ové sklíčidlo firmy TOS Svitavy o průměru 250mm se sadou čelistí pro upnutí jak malých tak rozměrově větších obrobků. K tomuto sklíčidlu byl rovněž objednán přípravek pro upnutí na otočný pracovní stůl obráběcího stroje. Tento upínací element však spolu s nasazeným sklíčidlem odebíral 225mm z pracovního prostoru stroje v jeho „zetové“ ose. S přihlédnutím na fakt, že pracovní prostor v ose Z se při použití tohoto přípravku zmenšuje na 325mm, kdy z této hodnoty je nutno ještě odečíst délku použitého adaptéru s patřičně vyloženým obráběcím nástrojem bylo zjištěno, že ani jednu ze stěžejních komponent zbraně by nebylo možné na takto vybaveném stroji vyrobit. Bylo tedy nezbytné co možná nejlépe pracovat s omezeným pracovním prostorem obráběcího centra.

Z tohoto důvodu byla jako součást této diplomové práce navržena a vyrobena upínací deska tvaru kruhu o průměru 300mm. Polotovár byl vyřezán vodním paprskem z 15mm silné, kalené, hliníkové desky jakosti AW7075. Díky 3D modelu stroje bylo možné zjistit rozteče T-drážek pracovního stolu a vyvrtat šestici děr průměru 12mm pro upínací šrouby. Dle

technického listu sklíčidla byly zjištěny rozteče 3 upínacích otvorů, za účelem jejich přenesení na zhotovovanou desku. Přípravek byl opatřen středícím trnem průměru 30mm pro přesné souosé ustavení desky potažmo sklíčidla na pracovním stole obráběcího stroje.

Použitím tohoto přípravku byl pracovní prostor stroje zvětšen oproti původní verzi o 95mm. Deska byla následně využita při obrábění jak rámu, tak závěru pistole a po dokončení výroby byla poskytnuta katedře pro užití v budoucích projektech či zakázkách určených pro obráběcí centrum DMU50.



Obr. 29 Výškový rozdíl přípravků (vlevo), upínací deska sklíčidla (vpravo), (zdroj: vlastní grafika)

Jelikož byl pro výrobu rámu zbraně navržen polotovar pravoúhlého tvaru obdélníkového průřezu, bylo zapotřebí zkonstruovat a vyrobit patřičný přípravek umožňující takovýto polotovar upnout do kruhového sklíčidla.

Zhotovení přípravku probíhalo na konvenčních strojích, kde bylo z válcového polotovaru průměru 50mm a délky 117mm vytvořeno patřičné osazení pro zajištění požadované upínací výšky. Obrobek se dále upnul do sklíčidla upevněného na stole univerzální frézky, kde proběhl zbytek plánovaných technologických pochodů. V první řadě šlo o zhotovení průchozí drážky pro montáž polotovaru rámu pistole. Krokem následujícím bylo vytvoření dvou drážek tvaru C umístěných proti sobě, které sloužily jako vybrání pro matice upínacích šroubů polotovaru. Další úsek výroby spočíval ve vyvrtání tří otvorů pro metrické šrouby M8. Za pomoci těchto šroubů byl polotovar rámu pevně a stabilně upnut v upínacím přípravku.



Obr. 30 Přípravek pro první upnutí polotovaru rámu pistole, (zdroj: vlastní fotografie)

Pro výrobu rámu pistole byl zvolen polotovar obdélníkového průřezu o rozměrech 150x30mm délky 202mm. Ten byl následně upraven viz. Obr. 30 za účelem snížení výrobních časů na obráběcím stroji.

Řídící program pro výrobu rámu byl vytvořen v prostředí CAM softwaru Mastercam a obsahoval celkem 195 obráběcích úseků. V první fázi výroby byl polotovar upraven na požadované rozměry a v jeho horní části byla zhotovena konečná kontura rámu pistole. Za pomoci prodloužené stopkové frézy průměru 14mm byla v přední části dílu vytvořena U drážka. Tento krok bylo třeba provést na úplném začátku výroby v době, kdy ještě dosahoval obrobek dostatečné tuhosti, jelikož se obráběná drážka nacházela ve velké vzdálenosti od upínací základny.

Díl byl v další fázi opatřen většinou otvorů umístěných po boku součásti. Kruhovou interpolací byl pak zvětšen jeden z otvorů z původních 7,3mm na průměr 7,95mm ne však po celé jeho délce, nýbrž do hloubky 17,6mm. Nadcházející část výroby se zaměřovala na hrubování vnějšího tvaru komponenty. Obrábělo se bokem stopkové frézy ($a_e=1\text{mm}$) a to celá tloušťka obrobku najednou. Další úseky obrábění byly zaměřeny na zhotovení vedení závěru zbraně pomocí T-frézy, kde byly tyto drážky provedeny na dva programované průjezdy.



Obr. 31 Frézování kontury (vlevo), částečně obrobený rám (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Výroba dále pokračovala vyvrtáním otvoru z čela součásti, kde byl vzniklý výběhový kužel na dně díry odstraněn spirálovou interpolací za pomoci frézovací hlavičky ze série Multi-Master firmy Iscar.

V řídicím programu bylo následně programováno obrábění Picatinny lišty v přední části rámu. Stejně jako u výroby na konvenčních strojích i zde bylo třeba nejprve zhotovit T-drážky a v navazující fázi těmito drážkami srazit jejich hrany pod úhlem 45° . Na rozdíl od konvenčních strojů kdy bylo třeba sdružit dva posuvy v určitém poměru, to pro počítačem řízené obráběcí centrum nebyl sebemenší problém.

Po zhotovení Picatinny lišty se výroba zaměřila na frézování šachty zásobníku. Obrábělo se dlouho stopkovou frézou průměru 14mm s programovaným $a_p=1\text{mm}$. Celkovou hloubku této komory ovšem nebylo možné obrobit na jedno upnutí z důvodu délky použité frézy a proto byla zhotovena přibližně její polovina. Zbylá část šachty zásobníku byla navržena pro obrobení během druhého upnutí.

Dalším technologickým úsekem bylo odstranění přebytečného materiálu v okolí uložení hlavně pistole. Materiál byl odstraněn frézou průměru 6mm po jednotlivých hloubkách záběru činících 1mm. V okamžiku kdy se frézování této části dokončilo, bylo umožněno vytvořit úzkou drážku šířky 3,9mm na kruhové ploše otvoru zhotoveného v předchozích fázích výroby.

Navazující část výroby se zaměřovala na hrubování tvarové plochy v horní části rámu kopírující tvar hlavně. Po nahrubovaném tvaru byla tato plocha dokončena kulovou frézou průměru 8mm.

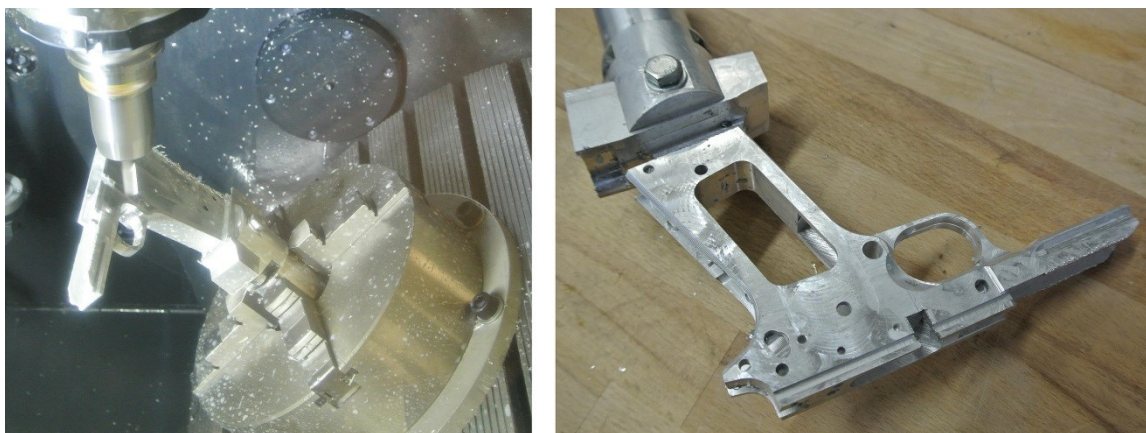
Výroba se poté zaměřila na lučik pistole, který byl v první řadě zúžen z obou stran o 5,94mm a následně byla zhotovena jeho vnitřní část pomocí příkazu frézování uzavřené kapsy.

Řídící program byl nadále koncipován tak, že mezi úseky 63 až 126 probíhalo dokončování tvarových ploch nacházejících se v přední části rámu. Za běžných okolností by pro dokončení byla použita kulová fréza, ovšem v tomto případě její užití nebylo možné, jelikož bylo třeba dokončovat tvarové plochy umístěné na hranicích přiléhajících částí rámu. Proto byla pro tyto úseky zvolena výměnná hlavice určená pro frézování do rohu nicméně disponující rádiusem ostří 1mm. V CAM softwaru byl pak hlavní řezný pohyb korigován tak, aby byla vodící linka umístěna tečně ke středu oblého ostří frézovací hlavičky. Díky průměru použité hlavičky bylo možné zhotovit i tvarové plochy obepínající vnitřní část lučíku. Kulovou frézou byly následně dokončeny před-hrubované plochy umístěné kolem spouště zbraně.

3 následující úseky obrábění se zaměřovaly na dokončení tvaru rámu pistole v jeho zadní části. S opětovným využitím frézovací hlavičky bylo možné zhotovit tvarové plochy i kolem dlaňové pojistky zbraně. V tomto případě se jednalo o programovaný úsek 130 – 161.

Poslední část řídicího programu byla soustředěna na vytvoření místa pro mechaniku zbraně. Nejprve bylo nutné odfrézovat přebytečný materiál, tak aby bylo následně možné vytvořit uložení pro jednotlivé komponenty mechanismu pistole. T-frézou bylo vytvořeno zadní vedení pro mainspring housing, uzamykací drážka pro pojistku zásobníku a částečně byl naznačen i otvor pro spoušť. Dalším úsekem bylo gravírování textu do rámu zbraně.

Závěrečná část výroby se zaměřovala na zhotovení odlehčení rámu v okolí zásobníkové šachty. První upnutí bylo pak zakončeno obrobením dvou protilehlých drážek ve spodní části dílu. Ponechán byl pouze úzký pásek materiálu o tloušťce 5mm spojující takto zhotovený obrobek se zbylou částí polotovaru.



Obr. 32 Obrábění Picatinny lišty (vlevo), dokončení 1. upnutí (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Za účelem dokončení rámu zbraně během druhého upnutí bylo třeba navrhnout a vyrobit druhý přípravek pro uchycení částečně obrobené součásti. Upínací přípravek byl zhotoven přímo na NC stroji, jelikož bylo nutné dodržet rozměry obrobeného rámu.

Jako polotovar byl použit válcový hliníkový profil průměru 50mm, kde na jednom konci bylo zhotoveno osazení o průměru 43mm a délce 58mm. Tento polotovar byl upnut do sklíčidla, umístěném na pracovním stole obráběcího stroje DMU50 a v první řadě byly vyfrézovány jednotlivé uložení pro hlavy a matice upínacích šroubů. Nejdůležitějším úsekem bylo obrobení průchozí drážky hluboké 52mm o šířce odpovídající právě obrobenému rámu zbraně. Dále byly vyfrézovány 2 drážky umístěné proti sobě stopkovou frézou průměru 6mm. Drážky zajišťovaly dostatečnou pružnost upínací části přípravku.

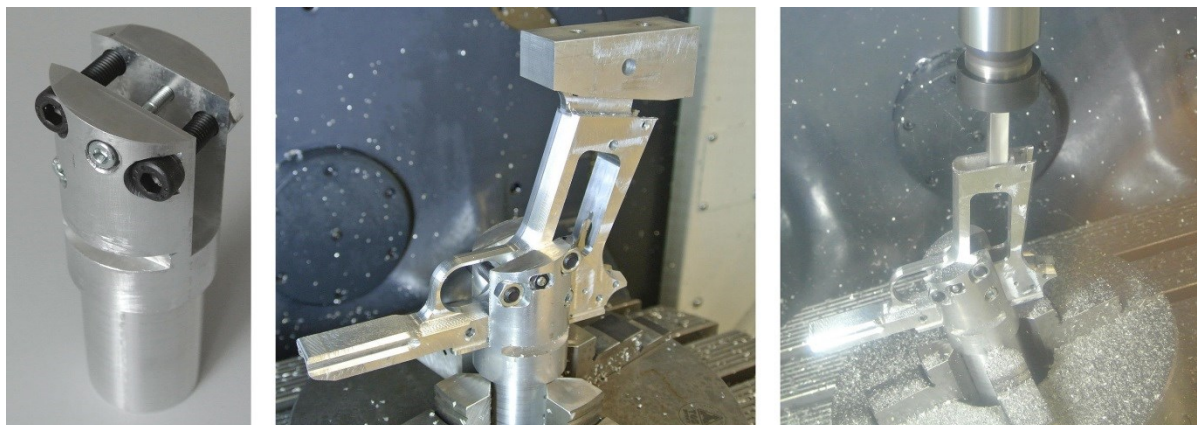
Do zhotoveného přípravku bylo možné upnout částečně obrobený rám pistole a 5ti šrouby jej dostatečně utáhnout, tak aby jej bylo možné dále opracovávat. Drážky pro matice byly navrženy jako samosvorné a nebylo proto zapotřebí použít při dotahování šroubů jakýkoliv klíč.

Upnutý rám byl v prvním kroku zbaven patky, která umožňovala jeho dosavadní opracování během první části výroby. Po jejím odstranění byla „spojovací“ plocha začištěna jedním průchodem stopkové frézy. Po tomto kroku se naskytla možnost doobrobit šachtu zásobníku z její opačné strany.

Díky indexování obrobku byla součást následně nastavena do takové pozice, jenž umožnila zvětšit průměr jednoho z otvorů vyvrtaného v první fázi výroby. K tomuto úkonu

byl použit extra dlouhý vrták průměru 5,6mm zavedený do předvrtaného otvoru přes šachtu zásobníku.

Poslední úseky druhého upnutí se zaměřovaly na zhotovení příčných zářezů na Picatinny liště pomocí stopkové frézy průměru 3,5mm.



Obr. 33 Přípravek a 2. upnutí (zleva), frézování šachty zásobníku (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Tímto byly dokončeny všechny úseky programované pro rám pistole. Nutno však dodat, že ač byla výroba prováděna na jednom z nejmodernějších obráběcích center, nebylo možné rám zbraně dokončit na 100%. Odhadem byl díl dokončen z přibližně 80ti procent. Na součásti se nacházejí např. ostré dlouhé hrany, které nelze frézovacími strategiemi zhotovit.

Tab. 9 Strojní časy reálné výroby na NC stroji + počet upnutí, (zdroj: vlastní data)

Úsek výroby	Úsek obrábění	Operace obrábění	Strojní čas
			[min]
1 – 8	Úprava rozměrů polotovaru	frézování	18
9 – 30	Hrubování tvaru rámu	frézování	60,8
31 – 34	Vrtání uložení hlavně	frézování	1,8
35 – 48	Picatinny lišta	frézování	12,8
49 – 54	Uložení hlavně + šachta zásobníku	frézování	41,4
55 – 62	Zhotovení lučíku	frézování	41,1
63 – 163	Frézování tvarových ploch	frézování	51,7
164 – 180	Obrábění uložení pro mechaniku	frézování	63,8
181 – 187	Odlehčení rámu + závěrečné op. 1. upnutí	frézování	53
1 – 5	Úprava rámu + dokončení šachty zásobníku	frézování	24,3
6 – 8	Dokončení Picatinny lišty	frézování	9,7
Celkový strojní čas výroby rámu pistole na NC stroji			378,4
Počet realizovaných upnutí		2	

6.2 Závěr zbraně – slide

Pro výrobu závěru na obráběcím centru DMG DMU50 byl navržen polotovar kruhového průřezu o rozměrech 50 x 300mm. Před upnutím na samotný stroj jej však bylo třeba patřičně upravit. Na univerzálním hrotovém soustruhu bylo zarovnáno jedno z řezaných čel polotovaru a v jeho ose byla vyvrtána díra průměru 17,75mm s hloubkou 124,2mm.

Takto upravený polotovar bylo již možné upnout přímo do sklíčidla na obráběcím stroji. Programování závěru zbraně probíhalo po jednotlivých sekcích, kdy první z nich měřila 45mm a každá další 36mm. Tento způsob programování byl zvolen především proto, aby byla docílena dostatečná tuhost obrobku, i v okamžiku kdy bude již součást chudá na materiál. Při obrábění bude vždy každá sekce kompletně dokončena tak, že se k ní až na pár výjimek nebude nutné vracet.

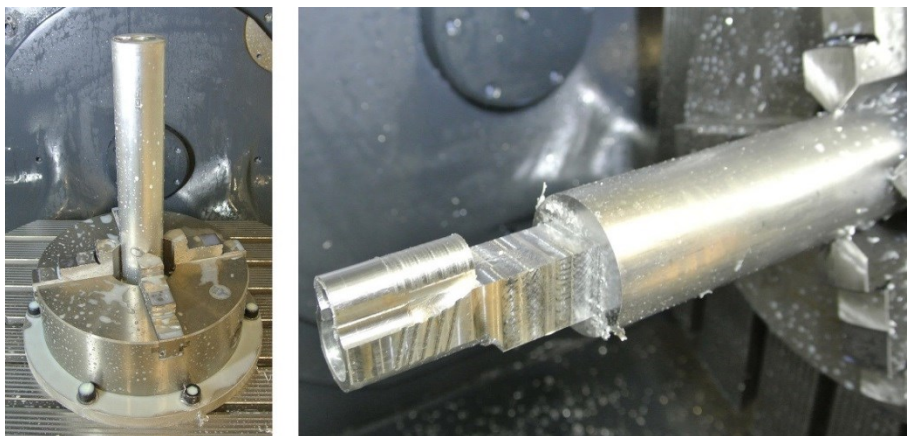
Řídící program prvního upnutí byl navržen s celkem 72 úseky. Jeho první část se zabývala frézováním uložení pro vratnou pružinu, které probíhalo bokem stopkové frézy. Navazující 3 úseky byly zaměřeny na hrubování první sekce závěru z původního polotovaru.

Dále bylo zúženo uložení vratné pružiny z původních 23,3mm na 16,3mm a pomocí stopkové frézy průměru 10mm byly nahrubovány obě protilehlé tvarové plochy uložení. Tyto plochy byly následně dokončeny kulovou frézou, pro jejíž řízení byla využita strategie dokončování ploch pružnými řádky.

Dalším úsekem výroby bylo hrubování tvarové plochy na svrchní straně součásti. Hrubovací krok byl v tomto případě nastaven na hodnotu jednoho milimetru. Pro dokončení této plochy bylo využito potenciálu stroje a do obrábění se zapojila čtvrtá tedy C osa rotace pracovního stolu. Jelikož je však tato plocha nakloněna pod úhlem 0,5° vůči referenční rovině bylo zapotřebí indexací B osy patřičně srovnat obrobek do požadované pracovní roviny. Obrábění této tvarové plochy pak probíhalo natáčením pracovního stolu v přesně určené úhlové vzdálenosti za současného odebírání materiálu běžnou stopkovou frézou průměru 10mm. Díky tomuto nastavení bylo eliminováno zdlouhavé obrábění klasickou metodou pomocí dokončovací kulové frézy. Oproti klasické metodě dokončování kulovou frézou byla tato strategie dle času vypočteného softwarem Mastercam rychlejší přibližně o 1235% což je v z pohledu času úspora téměř 4 minut. Stejná strategie byla aplikována na vnější tvarovou plochu uložení vratné pružiny, jediným rozdílem byla použita fréza, u které byl snížen průměr na 6mm. Závěrečným úsekem v první sekci obrábění bylo zhotovení hmatníkůvých drážek v přední části závěru pistole.

Druhý stupeň opracování obrobku byl podstatně jednodušší. Nejprve byl polotovar upraven na požadované rozměry a následovalo hrubování a dokončení svrchní tvarové plochy

stejným způsobem jako v první sekci. Součást byla následně indexována do pozice, kdy bylo možné na její spodní straně vyfrézovat uzavřenou kapsu sahající až do předvrtaného otvoru zhotoveného v úplném počátku výroby.

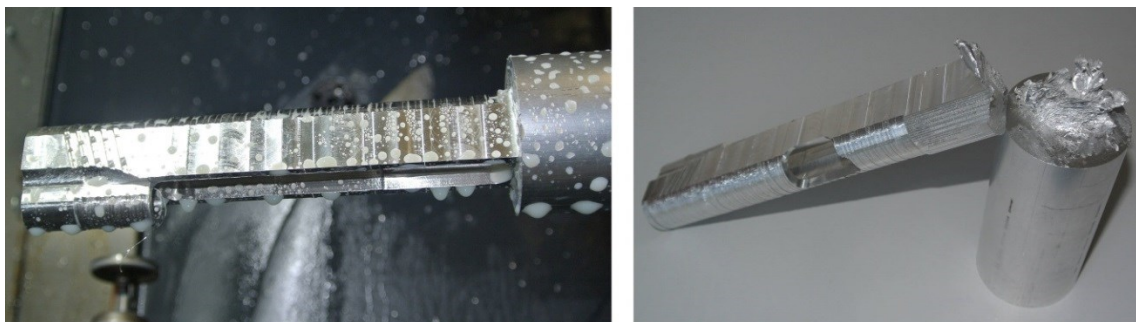


Obr. 34 Polotovár pro výroby (vlevo), rozpracovaná druhá sekce (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Naprosto stejný postup obrábění byl aplikován i na třetí a čtvrtý stupeň plánované výroby. 4. sekce obrábění nicméně zahrnovala i další frézovací strategie. V tomto případě se jednalo o zhotovení vyhazovacího okénka závěru, kde byl nejdříve vyhrubován přibližný tvar otvoru, který byl následně dokončen stopkovou frézou malého průměru. Pro dokončení tohoto otvoru bylo nutné obrobek indexovat v ose C nejdříve o úhel 90° a následně pak o úhel 40° .

Další programovaný úsek se zaměřoval na dokončení uzavřené kapsy ze spodní strany dílu, tak že byla fréza vedena přes 3 sekce obrábění a odebírala přídavek o velikosti 0,1 mm.

Po dokončení vnitřní kapsy se výroba zaměřila na obrobení pátého tedy posledního stupně závěru pistole. Postup byl obdobný jako u sekcí přecházejících s tím rozdílem, že v okamžiku kdy měla být dokončována horní tvarová plocha součásti, došlo k chybě v řízení stroje a obráběná součást byla oddělena od své základny (zbylého polotovaru).



Obr. 35 Obrobené 4 sekce součásti (vlevo), poškozený obrobek (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Tato chyba byla konzultována s operátorem výroby a její příčiny budou objasněny v kapitole č. 7 Rozbor problémů vzniklých během výroby na NC strojích.

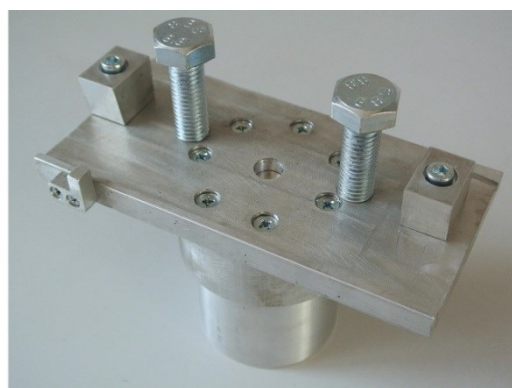
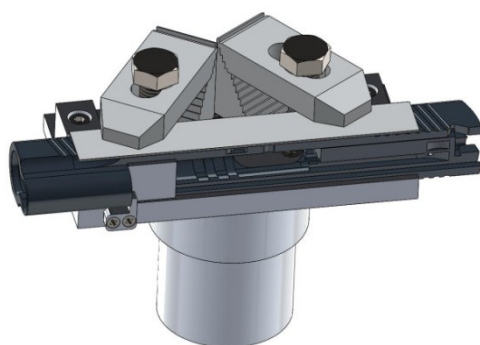
Závěr zbraně nebylo možné z kapacitních důvodů zhotovit znovu, a proto bude následující výroba popisována pouze z teoretického hlediska.

Po dokončení tvarové plochy byla vyfrézována uzavřená kapsa na spodní straně dílu, díky které se jednotlivé kapsy zhotovené v předešlé výrobě propojily, a jejich vnitřní hrany bylo třeba dokončit finálním průjezdem stopkové frézy.

Následující úseky obrábění byly zaměřeny na zhotovení plochy a před-hrubování rybinových drážek na horní straně dílu pro montáž zaměřovacích prvků pistole. Po adekvátním natočení obrobku bylo možné na jedné ze stran vytvořit bezpečností a montážní drážky závěru. Dále bylo zhotoveno vedení neboli saně sloužící pro nasazení závěru na rám pistole. Frézování hmatníkových drážek umístěných na zadní části dílu probíhalo následně. Závěr výroby byl zaměřen na odfrézování součásti od zbytku polotovaru.

Pro účely druhého upnutí závěru zbraně byl vyroben přípravek umožňující stabilní upnutí do sklíčidla stroje DMG DMU50. Jelikož přípravek nebyl v reálné výrobě použit z důvodu poškození obrobku v první fázi výroby, nebude zde popsána jeho výroba ale pouze konstrukce a způsob upnutí rozpracovaného závěru.

Základnou přípravku byla kruhová část opatřená osazením pro upnutí do požadovaného sklíčidla. Její horní plocha disponovala 7 otvory se závity M4 pro montáž horní upínací desky opatřené lícovací hranou a zarážkou pro přesné ustavení obráběné součástky. O přesnost ustavení se staraly dva kameny se zkosenou čelní plochou, každý umístěný na jedné ze stran upínací desky. Přitahováním šroubů umístěných v jejich středu byl závěr dotlačěn na hranu upínací desky. O upnutí součásti se pak staraly 2 sady stupňovitých upínek. Závěr tak bylo možné obrobit z jeho zadní a zároveň spodní strany.



Obr. 36 Přípravek zkonstruovaný pro 2. upnutí závěru zbraně, (zdroj: vlastní grafika)

Druhé upnutí, které rovněž nebylo v praxi provedeno, bylo v CAM systému navrženo na celkem 19 úseků obrábění. Na počátku výroby bylo třeba zarovnat zadní čelo dílu po frézování z předešlého upnutí.

Díky zarovnanému čelu bylo možné vyvrtat otvor pro vyhazovač nábojnic a zhotovit jeho rozšíření do hloubky 16,8mm vrtákem průměru 6,9mm. Následně byla vytvořena konečná tvarová plocha zádní části závěru doplněná o otevřenou kapsu se dvěma T-drážkami. Dvěma vrtacími cykli při nakloněné součásti pod úhlem $0,4^\circ$ vůči referenci byl zhotoven otvor pro úderník.

Závěrečné úseky obrábění byly zaměřeny na vytvoření drážek ze spodní strany dílu pomocí pilového kotouče z rychlořezné oceli. Těmito úseky byla uzavřena výroba i druhého upnutí závěru pistole, jehož kompletnost výroby byla stanovena přibližně na 85%.

U závěru pistole nebudou uvedeny konkrétní časy reálné výroby, neboť komponenta nebyla zcela dokončena.

6.3 Hlaveň zbraně – barrel

Hlaveň pistole byla jakožto rotační součást navržena pro výrobu na soustružnicko frézovacím centru vlastněném katedrou Obrábění, montáže a strojírenské metrologie.

Řídící program pro obrobení hlavně byl sestaven z celkem 43 obráběcích úseků. Pro výrobu hlavně byla použita hliníková kruhová tyč průměru 50mm délky 144mm, která ve svém středu měla již před-zhotovený otvor o průměru 11,2mm na jedné straně opatřený nábojovou komorou pro ráži .45 ACP.

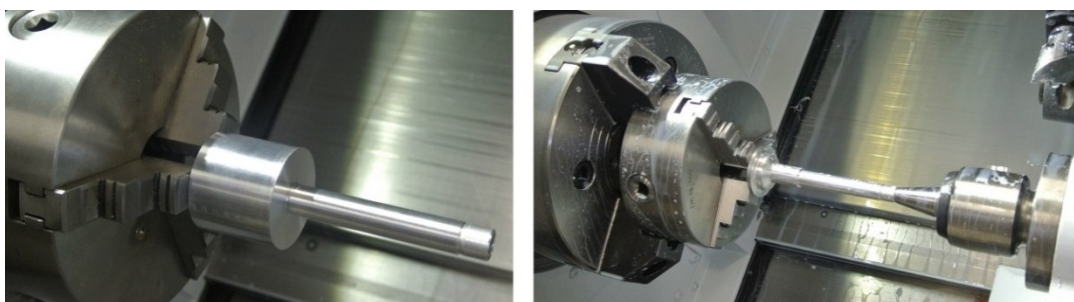
Polotovár byl upnut do hydraulického sklíčidla, tak že strana opatřená nábojovou komorou byla ve vzdálenosti 59mm od čelistí. Jako první bylo třeba nahrubovat vnější část hlavně o průměru 17,7mm do vzdálenosti 10,3mm od čela polotovaru. Druhý úsek byl pak zaměřen na obrobení vnější plochy polotovaru za účelem dosažení ideální sousostí během druhého upnutí.

Následně byl obrobek ve sklíčidle otočen a upnut za plochu vytvořenou v předešlém úseku výroby. Vzdálenost čela od čelistí byla nyní 96mm. Nejprve bylo zarovnáno čelo obrobku a pomocí zavítovacího cyklu byl speciálním nástrojem zhotoven vývrt hlavně.

Obrábění vývrtu probíhalo celkem ve 4 krocích. Jelikož má hlaveň Colt 1911 celkem 6 drážek a navržený nástroj disponuje třemi břity, bylo třeba zhotovit nejdříve 3 drážky s tím, že se následně vřetenou soustruhu pootočilo o úhel 60° tak aby mohly být zhotoveny další 3 drážky. Po takto zhotoveném vývrtu byl proces „závitování“ zopakován ještě jednou pro dosažení požadované kvality drážek vývrtu hlavně s tím, že byl obrobek pootočen o úhel 60° . Tento krok byl aplikován proto, aby nebyly drážky obráběny totožným břittem jako při prvním průchodu.

Následující krok se zaměřoval na hrubování části hlavně o průměru 14,73mm. Jelikož bylo odebráno velké množství materiálu a tloušťka výsledné stěny dosahovala pouze 1,75mm bylo třeba ústí hlavně podepřít koníkem. Takto nahrubovaná plocha byla následně dokončena břitovou destičkou tvaru V, která rovněž umožňovala zhotovit plochu pro metrický závit M14 na samém začátku hlavně.

Součást bylo třeba dále pře-upnout, ovšem ne do hydraulického sklíčidla, ale do běžného mechanického sklíčidla upnutého v původním sklíčidle soustruhu a podepřít ji koníkem. Smysl tohoto kroku bude objasněn v kapitole č. 7. Toto upnutí umožnilo zhotovit tvarovou plochu v zadní části hlavně.

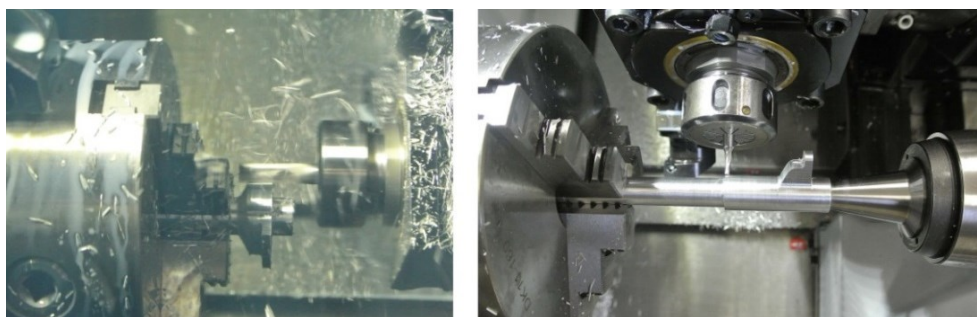


Obr. 37 Způsob upnutí hlavně během třetího upnutí, (zdroj: vlastní fotografie)

Obrobek byl v této fázi znovu otočen, za účelem frézování upínací patky hlavně z tvarové plochy zhotovené v předešlém kroku. Samotné frézování probíhalo z čela součásti za použití C osy soustruhu.

Po pře-upnutí součásti bylo možné radiálním frézováním obrobit uzamykací ozuby na vnější ploše hlavně. Totožné upnutí umožňovalo vytvořit i tvarovou plochu na spodní straně součásti. Zde byla použita kulová fréza průměru 8mm.

Po závěrečné změně upnutí, kdy bylo čelo obrobku vzdáleno 27mm od čelistí bylo vytvořeno vybrání pro drážku nábojnice a náběžná hrana „skluzavka“ pro zavádění náboje do nábojové komory hlavně.



Obr. 38 Frézování upínací patky (vlevo), obrábění ozubů (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Jelikož použité soustružnicko-frézovací centrum nedisponovalo Y osou, nebylo možné hlavně dokončit na 100%. V tomto případě byla výroba dokončena přibližně z 95%.

Tab. 10 Strojní časy reálné výroby na NC stroji + počet upnutí, (zdroj: vlastní data)

Úsek obrábění	Operace obrábění	Strojní čas
		[min]
Soustružení zadní části nábojové komory	soustružení	0,7
Obrábění drážek vývrtu hlavně	závitování	0,6
Sražení vnitřní hrany vývrtu	čelní frézování	0,3
Soustružení $\varnothing 50 \Rightarrow \varnothing 14,732\text{mm}$	soustružení	4,9
Obrábění tvarové plochy	soustružení	15
Frézování upínací patky	čelní frézování	8,7
Frézování ozubů a tvarové plochy	radiální frézování	4,8
Frézování vybrání nábojové komory	čelní frézování	2,5
Frézování náběžné hrany náboj. komory	čelní frézování	0,4
Celkový strojní čas výroby hlavně pistole na NC stroji		37,9
Počet realizovaných upnutí	6	

6.4 Grip screw bushing

Grip screw bushing je součástka umožňující spojit střenky s rámem pistole. Jelikož bylo třeba těchto dílů zhotovit celkem 8, byla výroba provedena na NC soustruhu.

Součástka je na svoji velikost poměrně složitá na výrobu. Její průměr činí 6,93mm a délka se zastavila na hodnotě 7,1mm. Její vnější plocha disponuje velmi krátkým závitem M6 a vnitřní otvor je opatřen závitem M4. V CAM softwaru byl pro její výrobu navržen program skládající se z 10ti úseků.

Pro výrobu byl použit prut z nerezové oceli průměru 8mm. První programovaný úsek zarovnal čelo polotovaru, proto aby v další části byl navrtán středící důlek a zhotoven otvor o průměru 3,3mm. V další části bylo možné zhotovit finální tvar součástky a pomocí soustružnického nože se závitovací VBD vytvořit metrický závit M6 o délce pouhých 2,2mm.

Posledním obráběným úsekem před upíchnutím dílu bylo sražení čela otvoru pomocí poháněného tříbřitého záhlubníku. Grip screw bushing byl krom vnitřního závitu obroben zcela kompletně. Vnitřní závit M4 nebyl realizován, jelikož požadovaný závitník nebyl momentálně k dispozici.

Tab. 11 Strojní čas reálné výroby na NC stroji + počet upnutí, (zdroj: vlastní data)

Úsek obrábění	Operace obrábění	Strojní čas
		[min]
Celkový strojní čas výroby součásti grip screw bushing		3,2
Počet realizovaných upnutí	1	

6.5 Nábojnice a projektily

Pro demonstrování výhod NC stroje v sériové potažmo malosériové výrobě byly navrženy dvě součásti. Jednou z nich byla mosazná nábojnice a druhou pak projektil ráže .45 ACP vhodný právě pro použití s touto nábojnicí. Obě tyto součásti bylo v plánu vyhotovit v množství 14ti kusů.

Pro nábojnici byl vytvořen řídicí program o devíti úsecích umožňující její kompletní výrobu. Polotovarem byla mosazná tyč jakosti CuZn40Pb2 o průměru 14mm. V první fázi bylo třeba zarovnat čelo tyče, aby bylo následně možné čelním frézováním po spirálové interpolaci zhotovit otvor nábojnice o průměru 11,2mm. Dále byl zhotoven vnější tvar nábojnice spolu s drážkou pro její vytažení z nábojové komory hlavně. Poslední úsek obrábění kombinoval sražení dna nábojnice při jejím současném upíchnutí z mosazné tyče. Na konvenčním soustruhu byla následně na každé nábojnic naznačena drážka zápalky.

Pro projektil náboje byl zhotoven řídicí program, jenž umožnil jeho výrobu z hliníkové tyče průměru 12mm v šesti jednoduchých krocích. První dva úseky byly zaměřeny na zhotovení vnějšího tvaru projektilu a zbylé pak součást dokončily a upíchnuly ze základní tyče, na které bylo následně zarovnáno čelo pro výrobu dalšího kusu.



Obr. 39 Vyrobené nábojnice a projektily (vlevo), detail náboje (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Tab. 12 Strojní čas reálné výroby na NC stroji + počet upnutí, (zdroj: vlastní data)

Úsek obrábění	Operace obrábění	Strojní čas
		[min]
Celkový strojní čas výroby nábojnice na NC stroji		1,6
Počet realizovaných upnutí	1	
Celkový strojní čas výroby projektilu na NC stroji		0,8
Počet realizovaných upnutí	1	

6.6 Střenky – gripy

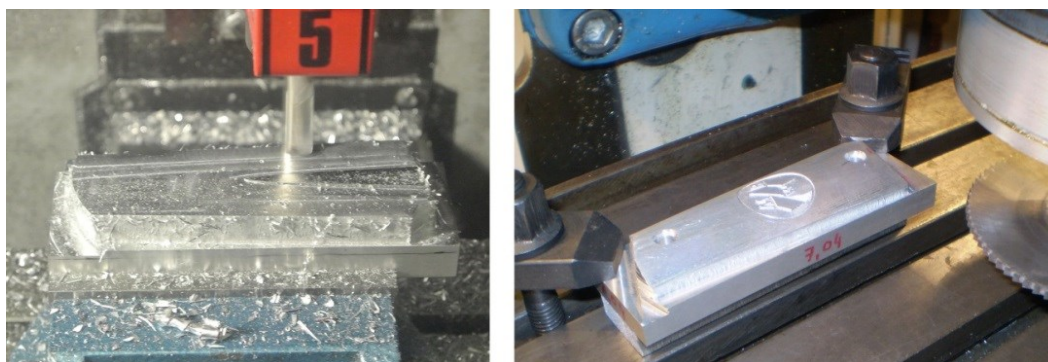
Střenky neboli anglicky gripy jsou součásti, jež se montují na rám pistole v oblasti šachty zásobníku. Jedná se o prvek, který může mít pro totožnou zbraň mnoho různých variant.

Jejich povrch a gravírované logo kopírují tvarovou plochu a z tohoto důvodu bylo nereálné gripy zhotovit na konvenčních strojích navíc v počtu dvou párů. Jejich výroba byla proto naplánována na počítačově řízenou vertikální frézku EMCO PC MILL 155. Rozsah řídicího programu činil 18 obráběcích úseků. Poněvadž se jedná o zrcadlené komponenty, jsou oba programované díly téměř totožné až na pár drobných rozdílů v kontuře součásti.

Polotovarem pro výrobu jednoho kusu byl kvádr hliníkové slitiny s rozměry 40x25mm a délkou 121mm. Polotovár byl upnut do svěráku umístěného na pracovním stole obráběcího stroje a v první fázi výroby byla zarovnána horní plocha kvádrů a zhotoven vnější tvar součástky. Použitím strategie koncentrického hrubování byl vytvořen přibližný povrch střenky, který mohl být následně dokončen kulovou frézou průměru 8mm řízenou řádkovací dokončovací strategií. Použitím úhlové frézy bylo zhotoveno sražení hrany spodní části gripu.

V navazující části výroby bylo gravírováno logo výrobce nanesené na vnější tvarové ploše součásti. Samotné gravírování bylo časově nejnáročnějším úsekem výroby. Poslední dva obráběcí úkony byly zaměřeny na vyvrtání otvorů a zhotovení kruhového vybrání pro upínací šrouby střenek pistole.

Gripy bylo následně třeba oddělit od zbylého materiálu, za který byl obrobek upnut. Tento krok byl proveden na běžné univerzální frézce za použití pilového kotouče, jímž byla střenka z obou delších stran podřezána. Řezaný povrch byl poté začištěn na pásové brusce.



Obr. 40 Frézování tvarové plochy (vlevo), odstraňování polotovaru (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

Tab. 13 Strojní čas reálné výroby na NC stroji + počet upnutí, (zdroj: vlastní data)

Úsek obrábění	Operace obrábění	Strojní čas
		[min]
Celkový strojní čas výroby jednoho gripu na NC stroji		158
Počet realizovaných upnutí	1	

7. Rozbor problémů vzniklých během výroby na NC strojích

Kapitola je věnována rozboru problémů, které se objevily v průběhu výroby jednotlivých součástí pistole Colt 1911 na soustružnicko-frézovacím centru a na univerzálním 5ti-osém frézovacím stroji DMU 50. Obsah kapitoly je členěn dle strojů, na nichž výroba probíhala a zabývá se popisem jak dílčích tak obecných problémů, s uvedením jejich vzniku a navrhovaným nápravným opatřením.

7.1 Univerzální 5ti-osé frézovací centrum DMG DMU 50

Během plánování výroby komponent zbraně bylo zjištěno, že nově pořízené frézovací centrum firmy DMG nemá i po přibližně 4 měsících od pořízení dostatečně funkční postprocessor umožňující provádět na tomto stroji adekvátní výrobu. Řídící program umožňující komunikaci mezi CAM softwarem a samotným strojem byl na úrovni, kdy nebylo plně možné využívat B a C osu obráběcího centra. Praktická část této diplomové práce výrazně přispěla k doladění nedostatků spojených právě s postprocessingem. Na základě odhalených chyb a jejich nahlášením dodavateli, byl postprocessor následně dodán v sestavení, které po drobné úpravě generovaného NC kódu umožňovalo použití přímo na obráběcím stroji. Úpravu bylo třeba provést v generovaném úhlu respektive jeho znaménku určující naklápění kolébky pracovního stolu. Stroj totiž nemá možnost naklápět pracovní rovinu obousměrně, ale pouze v rozsahu -5 až $+110^\circ$. Po provedení této úpravy byl již řídící NC program schopen ovládat všechny parametry stroje potřebné pro realizaci výroby.

Nejzásadnějším problémem však nebylo pozdní dodání funkčního postprocessoru, ale jak se v průběhu obrábění zjistilo, byl to tlak vzduchu, který neumožňoval dodržet konzistentní výrobní výkon tohoto stroje. Ačkoli byla dílna katedry vybavena dvěma kompresory napojenými každý na svou tlakovou nádobu, nedokázaly spolu zajistit dostatek stlačeného vzduchu pro kontinuální a dlouhodobý chod stroje. Následkem bylo chybové hlášení o nedostatku tlaku vzduchu a následné zastavení hlavního vřetena i v průběhu odebrání třísky z opracovávaného obrobku.

Typ DMU 50 má vzduchem chlazené vřeteno, pneumatickou výměnu nástrojů a vzduchem ofukovaná pravítka což v kombinaci s nedostatečným přísunem stlačeného vzduchu vedlo k zastavení stroje. Menší z kompresorů měl navíc chybně nastavenou tepelnou pojistku, která jej po překročení dané teploty odpojila za účelem předejití jeho poškození. Druhý kompresor pak sám nebyl schopen zajistit optimální dodávku stlačeného vzduchu pro obráběcí stroj. Díky problému s tlakem vzduchu se výroba rámu i závěru zbraně protáhla mnohonásobně nad očekávaný limit.

Navrhovaným řešením by byla kontrola obráběcího stroje, zda nespotřebovává více vzduchu než je potřeba, popřípadě zda se někde neobjevila netěsnost zapříčínující tento stav. V opačném případě zajistit výkonnější zdroj stlačeného vzduchu.

Další z problémů který se objevil v průběhu výroby, byla porucha kondenzačního sušícího zařízení. Jelikož obráběcí stroj DMU50 vyžaduje stlačený vzduch zbavený vlhkosti, je třeba kompresorovou techniku připojit na sušičku vzduchu. Závada vznikla na jedné části zařízení, kde se usadila nečistota a přístroj nedisponoval dostatečným tlakem potřebný pro jeho provoz. Porucha sušícího zařízení však nebyla až takový problém, neboť její opravu zajistil autorizovaný servis následující pracovní den po kontaktování a nahlášení daného problému.

Poslední potíž, kterou by bylo vhodné zmínit, bylo nedostatečné upínací vybavení dostupné pro pořízený obráběcí stroj. Tento zádrhel byl ve velké míře zapříčiněn tím, že výroba byla plánována poměrně krátce po pořízení stroje a požadované vybavení tak ještě nebylo dostupné. Ovšem z praktického pohledu mělo být upřednostněno pořízení univerzální svěráku vhodného pro použití na 5ti-osých strojích před sklíčidlem, které neumožňuje upnout tak širokou škálu polotovarů jako právě zmíněný strojní svěrák.

5ti-osé frézovací centrum DMG DMU 50 je bezesporu výborným obráběcím strojem, který však pro svůj bezproblémový provoz vyžaduje i adekvátní podpůrné vybavení, příslušný servis a řadu upínacího příslušenství pro využití jeho vysokého potenciálu.

7.1.1 Rozbor problémů vzniklých při výrobě rámu pistole

Nejznatelnější vadou na rámu pistole byl před jeho vyleštěním jednoznačně povrch součástky. Ten disponoval zcela jasnými drahami po použitém obráběcím nástroji a rovněž zatlačenými trískami po velké části povrchu dílu. Součást taktéž vykazovala necelistvý (stupňovitý) povrch, kde byly na první pohled znát trasy průchodu frézy. Tyto problémy byly jednoznačně zapříčiněny především nevhodně zvoleným nástrojem v kombinaci s upravovanými parametry přímo na stroji a s největší pravděpodobností i zvoleným způsobem upnutí polotovaru.

Za zmínku dále stojí zlomená tříbřitá, prodloužená, stopková fréza průměru 14mm s upínací stopkou o rozměru 12mm. Tento obráběcí nástroj měl být použit pro hrubování vnějšího tvaru rámu pistole, avšak kombinací nevhodně zvolené rychlosti nájezdu frézy do záběru a jeho zúženou upínací částí došlo k přelomení nástroje právě v oblasti přechodového krčku frézy.

V návaznosti na výše zmíněný problém s přelomenou frézou se následně objevila další potíž. Zničený obráběcí nástroj byl zaměněn za karbidovou stopkovou frézu průměru 16mm,

u které byla s největší pravděpodobností chybně provedena korekce, důsledkem čehož byla v jednom úseku obrábění zhotovena plytká drážka s hloubkou přibližně 0,8mm. Obráběcí nástroj měl plochu na níž se drážka objevila pouze míjet s nulovou výškou.



Obr. 41 Kvalita povrchu rámu a neplánovaně obrobená drážka, (zdroj: vlastní fotografie)

Poslední zaznamenaná potíž souvisela s druhým upnutím obrobku. Pro účel vhodného stanovení nulového bodu byla na součásti z prvního upnutí ponechána upínací patka pravoúhlého tvaru s rozměry 80x30mm. Nulový bod druhého upnutí byl navržen na střed této plochy. Z nezjištěné příčiny byl však výchozí bod posunut v ose X o hodnotu 2,139mm. Tento fakt byl zjištěn v okamžiku, kdy započalo obrábění šachty zásobníku. Použitá fréza nebyla očividně posunuta o určitou vzdálenost směrem do záporných hodnot osy X. Jelikož byl však problém zaznamenán dříve, než byla odebrána sebemenší část materiálu, bylo možné kompenzovat chybnou hodnotu výše zmíněným číslem zjištěným přesným měřením přímo na obráběném rámu.

Tato korekce byla následně zanesena do CAM softwaru, kde byl vygenerován nový řídicí NC program, jenž úspěšně tuto chybu eliminoval. Příčiny vzniku problému ovšem nebyly s určitostí odhaleny. Podle všeho však obsluhující technik provedl chybné stanovení nulového bodu. Nelze mu to však klást za vinu, jelikož s odměřovací sondou pracoval zřejmě poprvé.

7.1.2 Rozbor problémů vzniklých při výrobě závěru zbraně

Jelikož závěr pistole nebyl na NC stroji zcela dokončen, zaznamenaných problémů nebylo mnoho. Prvním z nich byl obrobený povrch svrchní tvarové plochy součásti. Jak již bylo popisováno v kapitole 6.2, byla pro obrobení této plochy zvolena stopková fréza průměru 10mm, která oproti kulové fréze výrazně urychlila zhotovení této plochy. Pro úspěšnou realizaci této plánované strategie bylo zapotřebí, aby byla kolébka pracovního stolu tedy osa B vykloněna pod úhlem 89,5° jelikož byla obráběná plocha vůči referenční rovině skloněna o úhel 0,5°. Tímto krokem měl být kompenzován vzniklý rozdíl v úhlové

vzdálenosti. Realita však byla odlišná. Navržená strategie obrábění běžela bez problému, ovšem na povrchu součásti po obrábění vznikly stupně, ke kterým by došlo v případě, kdy by B osa nekompensovala vzniklý úhlový rozdíl. Na povrchu dílu je v jeho zadní části patrné odklonění od nulové roviny obrobku ovšem na opačnou stranu, což ukazuje zřejmě na chybu v postprocessoru, který u této strategie chybně vygeneroval znaménko kompenzace výsledného úhlu. Jelikož se jednalo o vyklonění o mizivý úhel $0,5^\circ$ nebylo možné tento nedostatek postřehnout pouhým okem při obrábění. Při výrobě závěru nebyla ještě dostupná finální verze postprocessoru a je možné, že poslední dodané sestavení tuto chybu již opravuje.

Druhý zaznamenaný problém se rovněž týkal stejné strategie obrábění. V tomto případě se jednalo o vnější tvarovou plochu uložení vratné pružiny. Zde jelikož byla plocha rovnoběžná s referencí, nebyl problém v úhlech naklápění, ale potíž nastala v hloubce frézování. Obrobená plocha byla přibližně o 0,6mm posunuta níže oproti její druhé části, která byla zhotovena z čela součásti. Zde se ovšem příčinu problému nepodařilo dohledat. Možné vysvětlení by bylo ve výrobní toleranci stopkové frézy, se kterou byl již problém při obrábění hlavně pistole. Nelze to však s jistotou považovat za původce vzniklé rozměrové nepřesnosti.

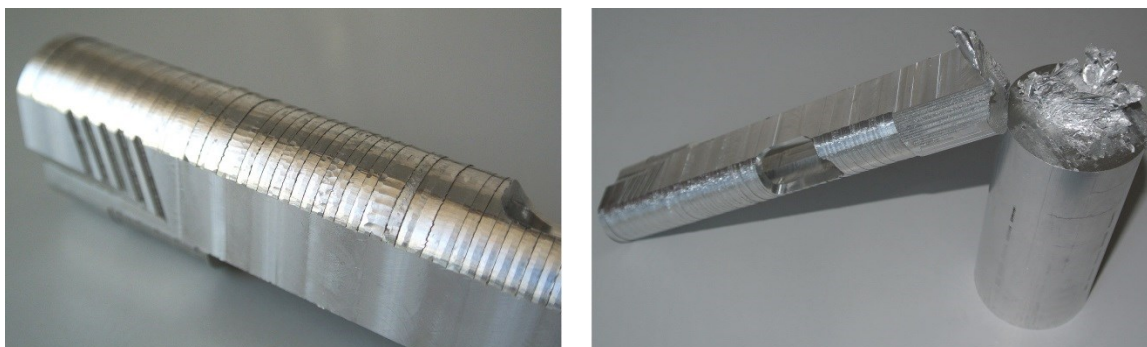
Avšak kritická chyba se objevila v pozdější fázi obrábění. V popisu výroby závěru bylo zmíněno obrábění v tzv. sekcích. Po kompletním zhotovení jedné sekce bylo možné přejít na obrábění části následující. Jelikož si byly jednotlivé segmenty dosti podobné, bylo při jejich programování v CAM systému využito kopírování již navržených strategií obrábění, kdy byla jen vybrána nová obráběná geometrie. Byl tak ušetřen čas a eliminována možnost vzniku chyb při vytváření obráběcí strategie pro každou sekci zvlášť.

Správnost programování byla ve výrobě ověřena na 4 bezchybně obrobených sekcích závěru pistole. U páté a poslední části však nastala kritická chyba, která oddělila obrobek od zbytku materiálu. Jen s velkým štěstím nedošlo taktéž k poškození obráběcího stroje. Tento problém byl dlouho zkoumán a konzultován s vedoucím práce, ale společnými silami byl jeho původ nakonec odhalen.

Příčina problému byla v režimu kontinuálního řízení obráběcího stroje. Původcem této chyby byl paradoxně nedostatečný tlak vzduchu. 2 úseky před kritickou frézovací strategií nahlásilo obráběcí centrum nedostatek vzduchu a zastavilo se. V tomto okamžiku nebyl žádný nástroj v záběru, a jelikož byly výpadky stlačeného vzduchu běžné, nepřikládala se této situaci zvláštní pozornost. Tepelná pojistka kompresoru však do konce směny nedovolila dodávky vzduchu obnovit a proto technikovy nezbyvalo nic jiného než stroj vypnout.

V okamžiku kdy měla výroba závěru pokračovat, byl již stroj zapnut a připraven k obrábění. V jeho řídicím systému však zůstal „viset“ příkaz kontinuálního řízení z doby,

kdy bylo stroj z důvodu nedostatku vzduchu třeba vypnout a tento příkaz v okamžiku aktivace 4. osy způsobil onen zmiňovaný problém. Této chybě bylo možné předejít, resetoval-li by se řídicí systém stroje. Jelikož bylo však obráběcí centrum nové, obsluha nemohla tušit, co se může a nemůže stát.



Obr. 42 Povrch tvarové plochy (vlevo), zničený obrobek (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

7.2 Soustružnicko-frézovací centrum

V této podkapitole budou popsány problémy spojené s výrobou hlavně pistole na soustružnicko-frézovacím centru. Hlaveň požadovaných kritérií se podařilo vyrobit až na 3. pokus. Problém u 1. obrobku se projevil hned v úvodní fázi výroby, kdy byl vrtán otvor průměru 11,2mm do hliníkové tyče průměru 50mm. Po vyvrtání bylo zjištěno, že otvor má nevyhovující rozměry a je navrtán do kuželu, což bylo nevyhovující, jelikož měl být opatřen drážkovaným vývrtem. Příčina problému byla zjištěna asi po týdnu, kdy vedoucí práce oznámil, že domek použitý pro vrtání, byl v předešlé výrobě vychýlen a bylo třeba jej technikem firmy znovu seřídít. Tento obrobek byl však pro další výrobu nepoužitelný.

Problém u druhého pokusu zhotovení požadované hlavně, byl v okamžiku, kdy bylo třeba obrobek upnout za již obroubenou vnější plochu nábojové komory, která disponovala tloušťkou stěny o síle 2,75mm. Tato stěna ovšem stisk čelistí hydraulického sklíčidla nevydržela a zdeformovala se. Nutno podotknout, že upínací tlak byl dle obsluhy stroje nastaven na nejnižší dovolenou hodnotu umožňující bezpečný provoz stroje. Obrobek byl sice dále nepoužitelný, ale pro třetí pokus bylo navrženo řešení v podobě upnutí běžného mechanického sklíčidla do hydro-sklíčidla stroje a upínací tlak tak regulovat běžným klíčem.

Při 3. upnutí byla již hlaveň dokončena. Drobnou vadou na kráse byl pouze jemný rozdíl (0,02mm) hodnot průměrů dvou ploch ve střední části nábojové komory. Tento rozdíl vzniknul kombinací soustružení a čelního frézování. V ideálním případě měly tyto dvě strategie obrábění vytvořit ideálně navazující souvislou plochu. K tomu však nedošlo a to díky rozměrové přesnosti stopkové frézy, která je vyrobena v toleranci $\pm 0,047\text{mm}$ umožňující tolerovat průměr menší o 0,047mm.

Pomocí měřicího zařízení, kterým soustružnické centrum disponovalo, byly přeměřeny bříty použité frézy průměru 10mm a její skutečný průměr řezné části vykazoval hodnotu 9,96mm.

V tomto případě by bylo vhodným řešením použít nástroj vyšší rozměrové přesnosti, nebo před každým obráběním řeznou část nástroje přeměřit a aplikovat adekvátní průměrovou korekci do řídicího systému stroje.



Obr. 43 Důsledek vysokého upínacího tlaku (vlevo), přechod mezi obrobenými plochami (vpravo), (zdroj: vlastní fotografie)

8. Rozbor a srovnání strojních časů obou technologií výroby

Kapitola číslo 8 uvádí jednotný souhrn naměřených strojních časů u všech zhotovovaných komponent pistole Colt 1911 určených k porovnání konvenční a CNC technologie výroby. Skladba kapitoly je řešena tabulkovou formou s názornými grafy přehledně prezentujícími dosažené výsledky.

U každé tabulky příslušné součástky budou uvedeny strojní časy naměřené při výrobě na konvenčních strojích. Dále časy generované CAM softwarem Mastercam, čas skutečné výroby na NC stroji a u rámu zbraně obráběném na frézovacím centru DMU50 bude uveden i čas za který by byla součást ideálně dokončena, v případě kdy by nebyly upravovány nastavené parametry obrábění v průběhu její výroby. Zmiňovaná úprava snižovala původně nastavené obráběcí parametry o 65%. Takto velké procento úpravy bylo nastaveno nedopatřením, jelikož na řídicím panelu stroje bylo na potenciometru pracovního posuvu nastaveno 50%, ovšem dle řídicího systému činil skutečný posuv pouze 35% z původní nastavené hodnoty. Tento fakt byl zjištěn až v samém závěru výroby.

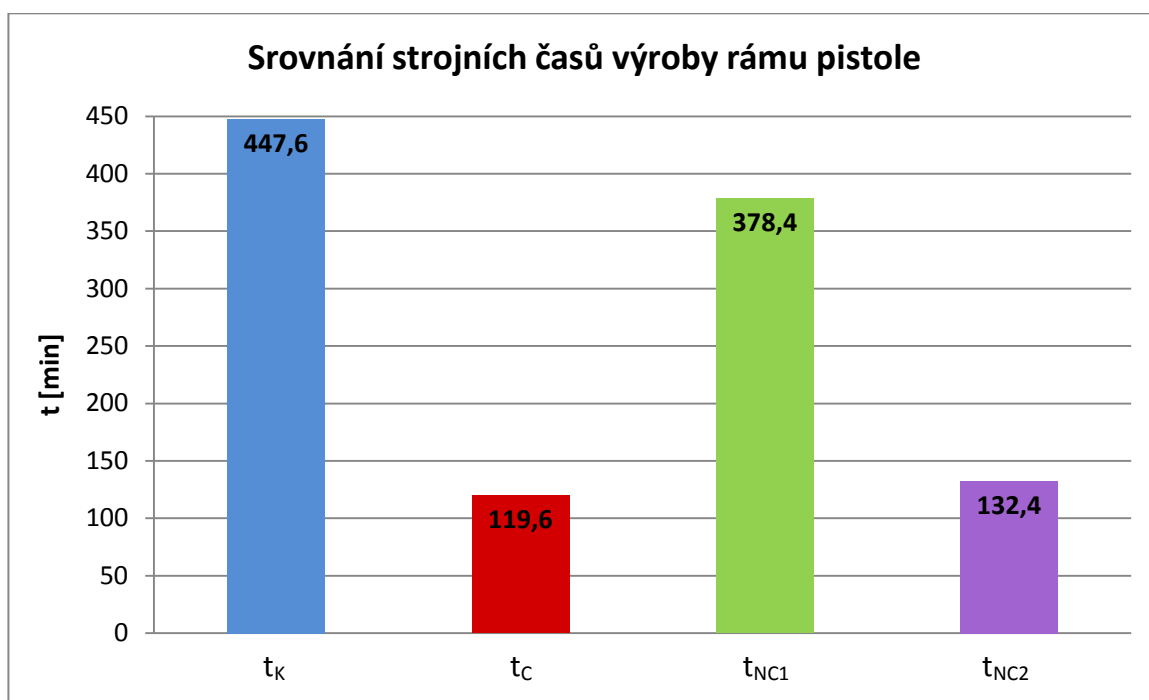
U nedokončeného závěru pistole budou uvedeny pouze časy konvenční výroby a teoretický čas vypočtený CAM softwarem.

8.1 Srovnání strojních časů výroby rámu pistole

Tab. 14 Srovnání strojních časů výroby rámu pistole, (zdroj: vlastní data)

Strojní časy dle způsobu výroby – rám pistole			
Konvenční výroba	CAM simulace	NC výroba (skutečná)	NC výroba (ideální)
		Strojní posuv: 35%	Strojní posuv: 100%
t_K	t_C	t_{NC1}	t_{NC2}
[min]	[min]	[min]	[min]
447,6	119,6	378,4	132,4

Graf 1 Grafická prezentace srovnávaných výrobních časů rámu pistole, (zdroj: vlastní data)



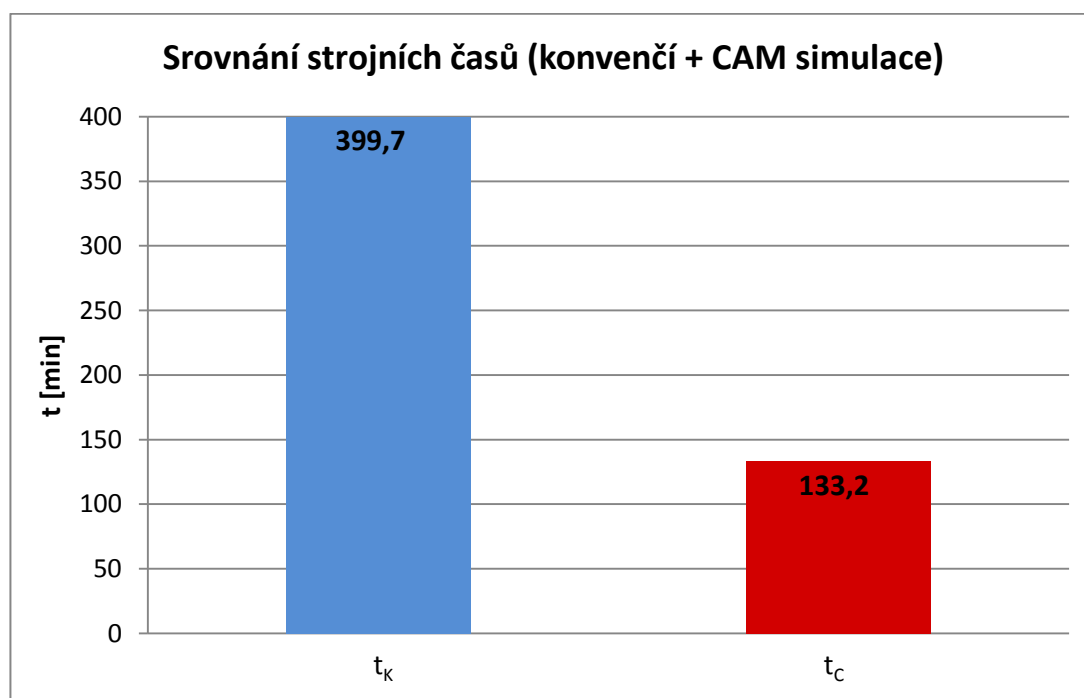
Z dat uvedených v grafu je zřejmé, že rozdíl ve strojních časech konvenční (t_K) a skutečné NC výroby (t_{NC1}) není příliš přesvědčivý ve prospěch nově testované technologie výroby. V případě kdy by však nebyly upravovány nastavené parametry pracovního posuvu, blížil by se čas výroby ideální hodnotě vypočtené systémem Mastercam.

8.2 Srovnání strojních časů výroby závěru zbraně

Tab. 15 Srovnání strojních časů výroby závěru pistole, (zdroj: vlastní data)

Strojní časy (konvenční + CAM) – závěr pistole	
Konvenční výroba	CAM simulace
t_k	t_c
[min]	[min]
399,7	133,2

Graf 2 Grafická prezentace získaných časů u součásti závěru pistole, (zdroj: vlastní data)



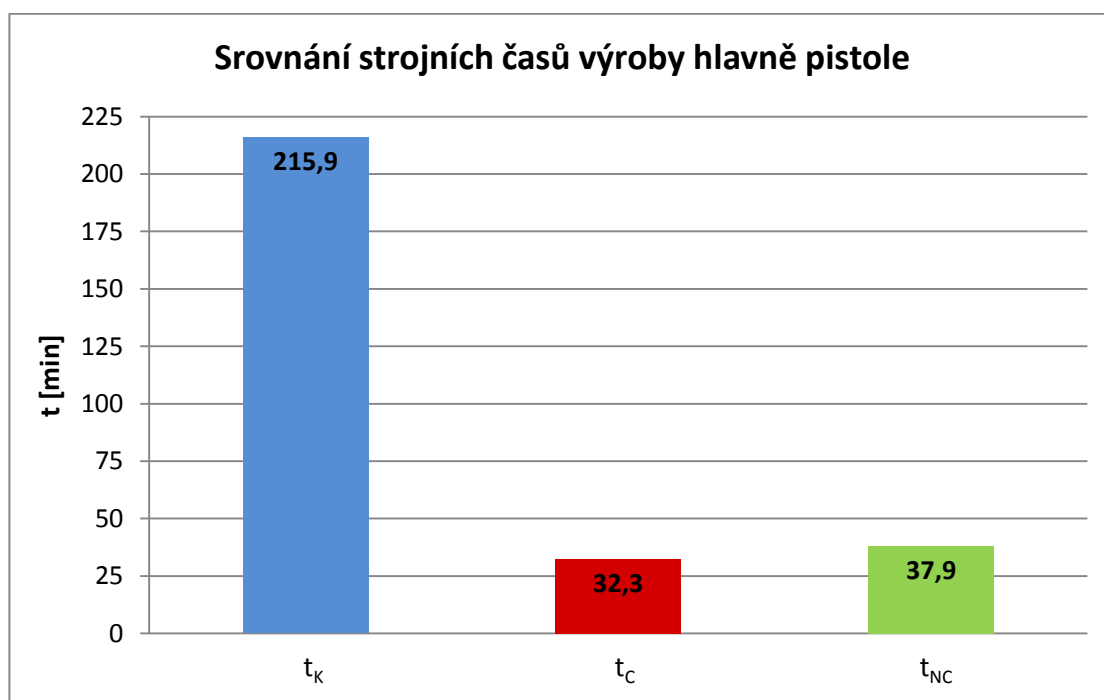
Nedokončená výroba závěru zbraně neumožnila korektně porovnat reálné časy získané při výrobě na frézovacím centru DMU50 se strojními časy konvenční metody výroby. Graf číslo 2 uvádí hodnoty naměřené během zhotovování součásti na běžných strojích a časy ideální výroby odečtené ze simulace v prostředí CAM softwaru.

8.3 Srovnání strojních časů výroby hlavně zbraně

Tab. 16 Srovnání strojních časů výroby hlavně pistole, (zdroj: vlastní data)

Strojní časy dle způsobu výroby – hlaveň pistole		
Konvenční výroba	CAM simulace	NC výroba
t_K	t_C	t_{NC}
[min]	[min]	[min]
215,9	32,3	37,9

Graf 3 Grafická prezentace srovnávaných výrobních časů hlavně pistole, (zdroj: vlastní data)



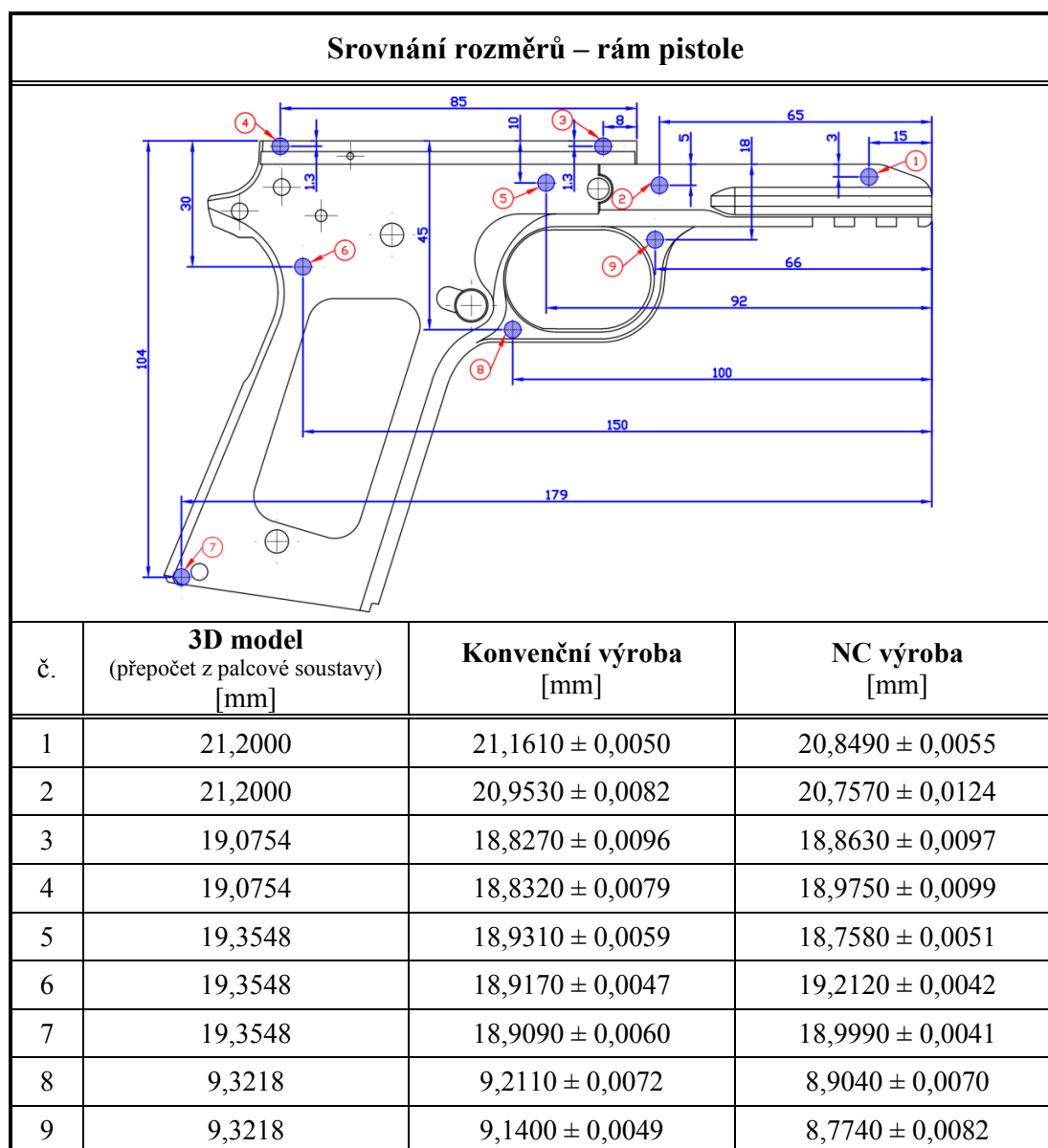
Pomine-li se fakt, že byla hlaveň na soustružnicko-frézovacím centru úspěšně vyrobena až na třetí pokus, jednalo se z časového hlediska o jednoznačný úspěch. Samotná výroba byla oproti ideálnímu času z CAM systému pomalejší pouze o 5,6 minuty. V porovnání s výrobou na konvenčních strojích se jednalo již o znatelnou časovou úsporu ve výši 178 minut, což jsou téměř tři ušetřené hodiny výrobního času. Nesmí být však opomenut fakt, že za tuto dobu nebyla hlaveň pistole zcela dokončena, neboť to nedovolovaly technické možnosti stroje. Zhruba 5% technologických úkonů bylo třeba dokončit na klasických strojích. Pro úplnost tyto dokončující kroky spolknuly dalších přibližně 16 minut výrobního času.

9. Rozměrové a kvalitativní srovnání dílů vyrobených oběma technologiemi

V samotném závěru diplomové práce budou srovnány vyrobené díly pistole Colt 1911 z pohledu odchylek rozměrů vůči referenčnímu 3D modelu součásti. Dalším a závěrečným srovnáním vybraných komponent zbraně bude jejich kvalita zhotovení, zaměřená především na jakost obrobené plochy.

Rozměrové srovnání bude řešeno formou vybraných klíčových bodů na každé z komponent, jež budou vyznačeny na výkresu příslušné součásti. Podle těchto bodů bude následně třmenovým mikrometrem realizováno vždy 10 měření na každém stanoveném bodu. Získané hodnoty budou patřičně přepočteny a zaneseny do tabulky obsahující naměřené rozměry porovnávaných dílů. Tyto rozpisy měření budou doplněny o výkresy daných součástí obsahující kóty měřených rozměrů a to v příloze [D] této diplomové práce.

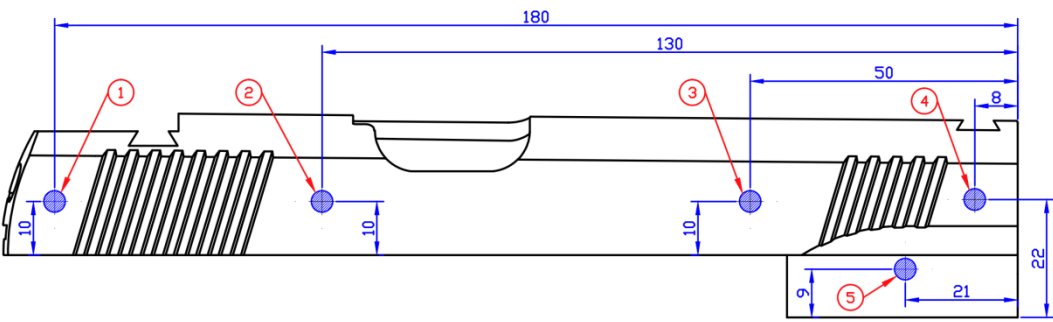
Tab. 17 Rozměrové srovnání rámu pistole, (zdroj: vlastní data)



Z naměřených hodnot uvedených v tabulce 17 je patrné, že rám vyrobený na univerzálním 5ti-osém frézovacím centru dosahuje větších rozměrových odchylek od referenční hodnoty než receiver zhotovený běžnou konvenční technologií výroby. Tento nečekaný výsledek je úzce spjatý s provizorním upnutím pravoúhlého polotovaru do univerzálního sklíčidla stroje a upravovanými parametry v průběhu výroby součástky.

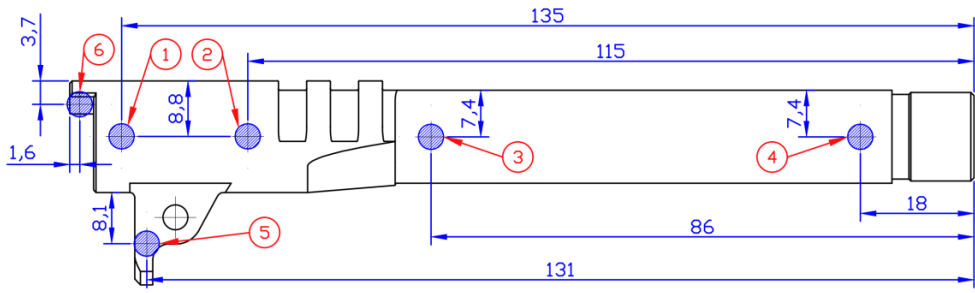
Povrch rámu pistole zhotovený NC technologií výroby byl ovšem nepřijatelný z pohledu použitého obráběcího stroje. Tento fakt byl zapříčiněn úpravou řezných parametrů v průběhu obrábění a nevhodně zvoleným obráběcím nástrojem.

Tab. 18 Rozměrové srovnání závěru pistole, (zdroj: vlastní data)

Srovnání rozměrů – závěr pistole			
			
č.	3D model (přepočet z palcové soustavy) [mm]	Konvenční výroba 1 [mm]	Konvenční výroba 2 [mm]
1	23,2664	23,2840 ± 0,0065	23,4310 ± 0,0048
2	23,2664	23,2620 ± 0,0044	23,3430 ± 0,0063
3	23,2664	23,2770 ± 0,0068	23,3850 ± 0,0069
4	23,2664	23,3370 ± 0,0063	23,3510 ± 0,0062
5	16,3068	16,3370 ± 0,0063	16,2810 ± 0,0062

V případě rozměrového srovnání závěru pistole Colt 1911 se bylo třeba zaměřit pouze na díly zhotovené na běžných obráběcích strojích, neboť NC výroba nebyla z důvodu poškození obrobku dokončena. Za účelem představení dvou zcela dokončených replik pistolí byly závěry pro obě zbraně vyrobeny současnou technologií na konvenčních obráběcích strojích. Tabulka naměřených hodnot tedy srovnává dvě shodné komponenty vyrobené totožným způsobem. Z pohledu kvality i strojních časů výroby na tom byla druhá vyráběná součást o poznání lépe než její ekvivalent.

Tab. 19 Rozměrové srovnání hlavně pistole, (zdroj: vlastní data)

Srovnání rozměrů – hlaveň pistole			
			
č.	3D model (přepočet z palcové soustavy) [mm]	Konvenční výroba [mm]	NC výroba [mm]
1	17,6784	17,6030 ± 0,0054	17,4570 ± 0,0058
2	17,6784	17,6050 ± 0,0062	17,5030 ± 0,0068
3	14,7320	14,7610 ± 0,0059	14,6580 ± 0,0063
4	14,7320	14,7070 ± 0,0050	14,6600 ± 0,0065
5	9,1948	9,0440 ± 0,0045	9,0640 ± 0,0064
6	10,5410	10,5330 ± 0,0067	10,4820 ± 0,0047

Poslední rozměrově srovnávanou komponentou byla hlaveň pistole. Zde se opět původní technologie výroby jevila jako preciznější způsob zhotovení požadované součástky. Konvenční technologii výroby vyzdvihuje i fakt, že byl díl oproti NC výrobě (2 zmetky) zhotoven na první pokus. Ve prospěch soustružnicko-frézovacího centra však hovoří celkový strojní čas výroby, tvarově přesně zhotovená spodní náběžná hrana nábojové komory a možnost zhotovit drážky vývrtu hlavně. Součást však nebylo možné na NC stroji zcela dokončit a v neprospěch nové technologie byla i vzniklá tvarová nepřesnost na ploše v zadní části hlavně, která je detailněji popsána v kapitole 7.2.

Tab. 20 Příklad výpočtu výsledného rozměru z 10ti naměřených hodnot, (zdroj: vlastní data)

č.	[mm]	Výběrový průměr:	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{211,61}{10} = \mathbf{21,1610\ mm}$ $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{(21,17 - 21,1610)^2 + \dots}{10 - 1}}$ $\sigma_x = \mathbf{0,0160\ mm}$ $\sigma_x = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = \frac{0,0160}{\sqrt{10}} = \mathbf{0,0050\ mm}$ $x = \mathbf{21,1610 \pm 0,0050\ mm}$
1	21,17		
2	21,17	Výběrová směrodatná odchylka:	
3	21,14		
4	21,15		
5	21,19		
6	21,17	Směrodatná odchylka výběrového průměru:	
7	21,14		
8	21,16		
9	21,15	Zápis výsledku:	
10	21,17		

10. Závěr

Obsah diplomové práce je v jejím úvodu věnován návrhu a výrobě speciálních obráběcích nástrojů použitých při výrobě repliky zbraně. Stěžejní část se zaměřuje na srovnání konvenční technologie obrábění pistole Colt 1911 s nově navrženou technologií výroby na moderních počítačem řízených obráběcích centrech. Práce, která navazuje a ve velké míře doplňuje bakalářskou práci, je zaměřena především na kvalitativní a časovou stránku výroby vybraných komponent pistole.

Po představení vyráběné repliky pistole se práce zaměřila na speciální nástroje použité ve výrobě komponent zbraně. Obsah byl zpracován jako rozbor jejich návrhu a výroby s porovnáním běžně, ale i speciálně používané technologie ve zbrojním průmyslu. Hlavní část práce byla zaměřena na popis výroby vybraných, tvarově a rozměrově nejsložitějších komponent pistole Colt 1911. Jmenovitě šlo o rám pistole, závěr a hlaveň. Uvedena byla jejich výroba jak na běžně používaných obráběcích strojích, tak na supermoderních obráběcích centrech vlastněných katedrou Obrábění, montáže a strojírenské metrologie. Účelem jejich výroby bylo především časové srovnání obou testovaných technologií a současně byly zhotovené díly porovnány z pohledu rozměrové přesnosti a kvality obrobeného povrchu. Řídící programy pro obrábění na NC strojích byly vytvořeny v prostředí CAM systému Mastercam.

Získané strojní časy výroby hovořily téměř ve všech případech ve prospěch komponent zhotovených na počítačem řízených obráběcích strojích. Výjimku tvořil pouze rám pistole, jehož výroba sice byla časově úspornější na NC strojích, ale pouze zhruba o 69 minut, což byla z pohledu tvarové složitosti a ve srovnání s procentem časové úspory u ostatních dílů poněkud zanedbatelná hodnota. V neprospěch NC výroby dále hovořila i kvalita obrobeného povrchu, která byla však zapříčiněna nevhodně zvoleným obráběcím nástrojem a úpravou parametrů v průběhu obrábění. Velkou výhodou nové technologie byl bezesporu počet upnutí součástek potřebný pro dosažení velkého procenta navržených technologických operací. U rámu pistole byl počet upnutí snížen ze 71 u konvenční výroby na pouhé 2 upnutí na NC stroji. Nevýhodou byla však nutnost navržení a zhotovení speciálních přípravků pro upnutí polotovaru a obrobku rámu stejně tak jako závěru pistole. Výrobu závěru pistole nebylo ovšem z důvodu chyby v řídicím systému stroje možné dokončit. Proto byla tato součást za účelem kompletnosti obou pistolí vyrobena ve dvou kusech za pomoci stávající technologie obrábění. Komponenty vyráběné na soustružnicko-frézovacím centru tedy hlaveň, nábojnice, projektily a grip screw bushing byly až na hlaveň zhotoveny v přijatelné kvalitě. Hlaveň zbraně byla úspěšně dokončena až na třetí pokus a to ne kompletně a v horší rozměrové

přesnosti než totožný díl obráběný na běžných strojích. Za zmínku však stojí zhotovený drážkovaný vývrt a precizně obrobená tvarová plocha na spodní části nábojové komory, kterou nebylo možné s dostatečnou tvarovou přesností zhotovit ručním řízením klasických strojů. Úspora výrobního času hlavně, činila ve prospěch NC výroby přibližně 162 minut. Výhoda soustružnicko-frézovacího centra se projevila až v případě obrábění několika kusů jednodušších součástí jmenovitě nábojnice, projektil, kde bylo celkem vyrobeno 14 kusů od každého dílu. Sériovost NC stroje zde byla záhy potvrzena poté, co byl jeden náboj rozměrově totožný jako 13 ostatních.

Takto realizovaná výroba a její následné srovnání ukázaly, že drahá počítačem řízená obráběcí centra jsou vhodná pouze a jenom pro sériovou potažmo i malosériovou výrobu nikoliv však pro výrobu kusovou. Vyrobit takto složité díly na první pokus je téměř nemožné a vždy bude minimálně první kus potřebný pro doladění vzniklých nepřesností a to jak v kvalitě povrchu tak rozměrů součástí. Vzhledem ke kusové výrobě komponent replik zbraní, by pořízení CNC stroje dávalo smysl pouze v kombinaci se stroji konvenčními. Ne však pro zkrácení výrobních časů, ale především pro zkvalitnění výroby tvarově složitých součástí. V okamžiku kdy by NC stroj převzal technologické úseky spojené s obráběním tvarově složitých ploch, dávalo by jeho pořízení smysl.

Zpracovaná diplomová práce vrhla jasné světlo na otázku, zda by se investice do počítačem řízeného obráběcího stroje vyplatila či nikoliv. Díky dosaženým výsledkům bylo upuštěno od pořízení velkého vertikálního frézovacího stroje, který by nahradil používanou konvenční frézku. Jelikož je výroba replik zbraní zaměřena především na ruční zbraně a velikost jejich součástí nedosahuje příliš velkých rozměrů, byla by za účelem zvýšení kvality obráběných komponent (především tvarových ploch) vhodná investice spíše do malého NC centra podobného stroji EMCO použitému při výrobě střenek na rám pistole. V případě koupě mírně použitého stroje by jeho pořizovací náklady nedosahovaly vysokých částek a pořízení by se tak mohlo vyplatit.

Seznam použitých zdrojů


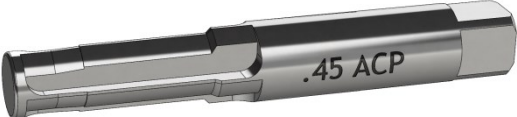






- [1] CHRISTOPHER, Chant. *Small arms*. 1. pub. London: Amber Books Ltd, 2003. ISBN 80-206-0781-1.
- [2] THOMPSON, Leroy. *The Colt 1911 pistol*. 1. pub. Oxford: Osprey Publishing, 2011. Weapon, 9. ISBN 1849084335.
- [3] Dvaadvacítky Kimber. *Střelecká revue*. 2010, 42(12), 100. ISSN 0322-7650.
- [4] Kimber America [online]. Elmsford: Kimber Mfg. Inc., 2016 [vid. 2016-04-18]. Dostupné z: <<http://www.kimberamerica.com>>
- [5] FAKTOR, Zdeněk. *Střelné zbraně: konstrukce a funkce*. Vyd. 1. Praha: Magnet-Press, 1995. ISBN 80-85847-46-9.
- [6] PTG Solid Pilot Chamber Finish Reamer 45 ACP. In: *MidwayUSA* [online]. MidwayUSA, Inc, 2016 [vid. 2016-04-18]. Dostupné z: <<http://www.midwayusa.com/product/830355/ptg-solid-pilot-chamber-finish-reamer-45-acp>>
- [7] .45 ACP komorový výstružník CIP. In: *lcoolshop* [online]. 2016 [vid. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.lcoolshop.cz/.45_acp_h>
- [8] KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika: střely, přesnost střelby, účinek*. Vyd. 1. Praha: Naše vojsko, 2004. ISBN 80-206-0749-8.
- [9] ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1999. Česká matice technická (Academia). ISBN 80-200-0671-0.
- [10] Nerez. *KÖNIGFRANKSTAHL* [online]. Senec, 2014 [vid. 2016-04-18]. Dostupné z: <<http://www.koenigfrankstahl.sk/produkty/nerez/>>
- [11] *1.4301: Cr-Ni austenitická korozivzdorná ocel*. Vyd. 1. Praha, 2002.
- [12] X6CrNi18-10 (1.4301) austenitické. *Bohdan Bolzano* [online]. Kladno, 2016 [vid. 2016-04-18]. Dostupné z: <<http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke>>
- [13] LOUTOCKÝ, Petr. *Analýza konstrukce a funkce stroje na drážkování hlavní*. Brno, 2013. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce Doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.
- [14] FÍŠER, Miloslav a Jiří BALLA. *Malorážové zbraně: konstrukce*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2004. ISBN 8085960796.
- [15] Star SU Rifle Buttons. In: *Star SU* [online]. Hoffman Estates: Star SU LLC, 2013 [vid. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://s3.serverdata.com/global-starsu/files/pdf/cutting-tools/starsu_riflebutton_flyer_2013_rev1.pdf>
- [16] GÜN, Barış a İlhan GÜVEL. RIFLING BY FLOW FORMING: A new developed method for rifling barrels. In: *FirearmsID* [online]. Istanbul: MACDOR Machine Industry And Trade Co. Ltd., 2007 [vid. 2016-04-18]. <<http://www.firearmsid.com/Feature%20Articles/FlowForming/riflingbyflowforming.htm>>
- [17] LIN, Tang, Gan WEIMIN, Fan ZHIJIAN a Yang SEN. Gun Tube Rifling Electrochemical Machining: Cathode Design and Experiment Study. In: *Atlantis-press* [online]. Atlantis press, 2014 [vid. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.atlantis-press.com/php/download_paper.php?id=15150>
- [18] Broaching systems: SB105/S110/SH117. *Paul Horn GmbH* [online]. Tübingen, 2016 [vid. 2016-04-18]. Dostupné z: <https://www.phorn.de/fileadmin/user_upload/media/PDF/Catalogues/DE-EN/2014-2015/Chapters/Drehen-S_Nutstossen.pdf>
- [19] *Ocel 19 810: Rychlořezná, výkonná, W-V ocel*. Vyd. 1. Praha, 2002.
- [20] LUGS, Jaroslav. *Ruční palné zbraně: soustavný přehled ručních palných zbraní a dějin jejich výroby*. Praha: Svojtka & Co., 2002. ISBN 8072376632.
- [21] MICHNA, Štefan. *Aluminium materials and technologies from A to Z*. [Prešov: Adin, 2007, 613 s.]. ISBN 978-80-89244-18-8.
- [22] MOKRUŠA, Michal. *Návrh strategie 2,5osého frézování v CAM systému při výrobě repliky zbraně*. Ostrava, 2014. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.
- [23] ALLOY DATA SHEET: EN AW-6060 [AlMgSi]. In: *Nedal Aluminium* [online]. Utrecht, 2005 [vid. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.nedalextrusion.com/files/4013/0678/5548/Data_6060.pdf>







Seznam příloh


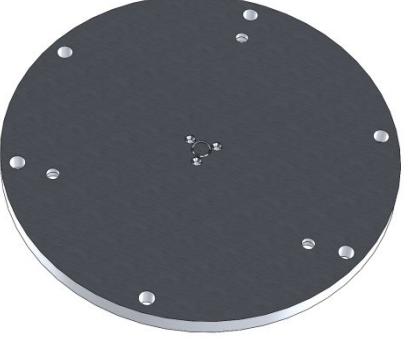




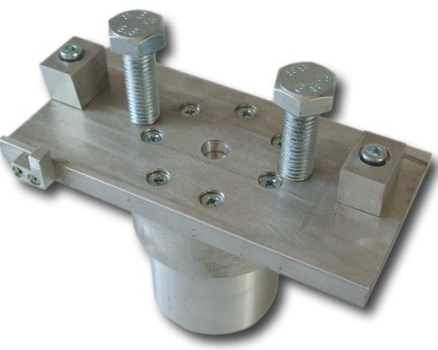
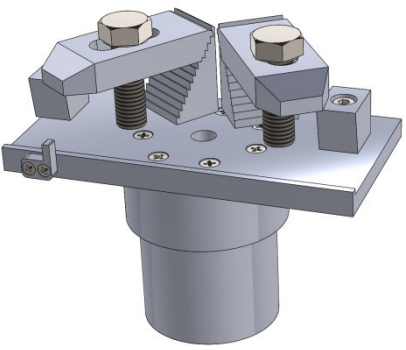
Příloha A	Fotografie dokončených replik pistolí Colt 1911
Příloha B	Souhrn vyrobených nástrojů, vybraných dílů zbraně a přípravků
Příloha C	Technické parametry použitých obráběcích strojů
Příloha D	Výkresy srovnávaných komponent zbraně
Příloha E	Rámcový technologický postup pro vybrané díly pistole
Příloha F	Řídící programy pro NC výrobu navržené v systému Mastercam






PŘÍLOHA B	Souhrn vyrobených nástrojů, dílů zbraně a přípravků
Navržené a zkonstruované obráběcí nástroje	
Zhotovený nástroj	3D model nástroje
Komorový výstružník	
	
Nástroj pro zhotovení drážek vývrtu hlavně	
	
Nástroj pro zhotovení uzamykacích ozubů v závěru zbraně	
	
Úhlová fréza	
	

PŘÍLOHA B – pokračování	Souhrn vyrobených nástrojů, dílů zbraně a přípravků
Stěžejní komponenty pistole Colt 1911	
Zhotovená komponenta	3D model dílu
Rám zbraně – receiver	
	
Závěr zbraně – slide	
	
Hlaveň zbraně – barrel	
	


PŘÍLOHA B – pokračování	Souhrn vyrobených nástrojů, dílů zbraně a přípravků
Zhotovené přípravky použité ve výrobě na NC stroji DMG DMU 50	
Zhotovený přípravek	3D model přípravku
Upínací deska sklíčidla	
	
Upínací přípravek pro 1. upnutí rámu pistole	
	
Upínací přípravek pro 2. upnutí rámu pistole	
	
Upínací přípravek pro 2. upnutí závěru pistole	
	

PŘÍLOHA C		Technické parametry použitých obráběcích strojů
Univerzální hrotový soustruh		
Model	---	RSA111081
Max. průměr nad ložem	mm	280
Max. průměr nad suportem	mm	175
Vzdálenost mezi hroty	mm	750
Šířka lože	mm	190
Průchod vřetenem	mm	30
Otáčky vřetena	min ⁻¹	16 – 2500
Výkon motoru	kW	1,5
Rozměry – délka, výška, hloubka	mm	1700, 1250, 850
Hmotnost	kg	385
		

PŘÍLOHA C – pokračování		Technické parametry použitých obráběcích strojů
Vertikální konzolová frézka		
Model	---	6P80Γ
Kužel vřetene	---	Morse 4
Vzdálenost vřetene od stolu	mm	50 – 350
Rozměry pracovního stolu	mm	200 x 800
Rozsah posuvů stolu	mm	160 x 500
Rozsah otáček vřetena	min ⁻¹	50 – 2240
Počet rychlostí vřetena	---	12
Úhel natočení hlavního vřetena	°	± 45
Rozsah podélného a příčného pojezdu	mm/min	25 – 1120
Rozsah svislého pojezdu	mm/min	12,5 – 560
Rychloposuv podélný – příčný – svislý	m/min	2,3 – 2,3 – 1,12
Šířka T-drážky	mm	14
Výkon hlavního motoru	kW	3
Výkon motoru posuvů	kW	0,75
Výkon motoru čerpadla	kW	0,12
Obrysové rozměry – délka, šířka, výška	mm	1525, 1875, 1510
Hmotnost	kg	1240

PŘÍLOHA C – pokračování	Technické parametry použitých obráběcích strojů	
Soustružnicko-frézovací centrum		
Oběžný průměr nad ložem	mm	787
Oběžný průměr nad suportem	mm	541
Max. průměr soustružení	mm	366
Max. délka soustružení	mm	705
Průchod vřetenem	mm	80
Pojezd v ose X	mm	260
Pojezd v ose Z	mm	795
Otáčky vřetena	min ⁻¹	4 000
Kužel NC koníku	---	MK5
Počet nástrojů v revolveru	---	12
Max. otáčky rotačních nástrojů	min ⁻¹	10 000
Rychloposuv v ose X a Z	mm/min	30 000
Výkon vřetenového motoru	kW	18,5
Výkon motoru rotačních nástrojů	kW	5,5
Výška	mm	1900
Zastavovací plocha (šířka, hloubka)	mm	3994, 1980
Hmotnost	kg	5 500
Řídicí systém	Mitsubishi M730BM	



PŘÍLOHA C – pokračování		Technické parametry použitých obráběcích strojů
5ti-osé obráběcí centrum DMG		
Model	---	DMU 50
Rozměry otočného stolu	mm	630 x 500
Pojezd v osách X, Y, Z	mm	500, 450, 400
Rozsah otáček vřetena	min ⁻¹	20 – 18 000
Upínací systém vřetena	---	HSK-A63
Výkon při (40/100%) zatížení	kW	35/25
Rychloposuv	mm/min	24 000
Rozsah naklápění pracovního stolu	°	-5 až +110
Rotační osa pracovního stolu	°	360
Počet T drážek	---	7
Šířka T drážky	mm	14
Velikost zásobníku nástrojů	---	16
Doba výměny nástroje	s	11
Objem procesní kapaliny	l	600
Rozměry chladicí jednotky	mm	1500, 1300, 1700
Výška	mm	2750
Zastavovací plocha (šířka, hloubka)	mm	3980, 4150
Hmotnost	kg	4480
Řídicí systém	Heidenhain iTNC 530 HSCI	
		

PŘÍLOHA C – pokračování		Technické parametry použitých obráběcích strojů
Univerzální, vertikální frézka EMCO		
Model	---	PC MILL 155
Rozměry pracovního stolu	mm	520 x 180
Pojezdy v osách X, Y, Z	mm	300, 200, 300
Rozsah otáček vřetena	min ⁻¹	0 – 10 000
Upínací systém revolverové hlavy	---	ISO 30
Rychloposuv	mm/min	7500
Pracovní posuv	mm/min	4000
Počet nástrojů v revolveru	---	10
Výkon vřetenového motoru	kW	4
Počet T drážek	---	3
Šířka T-drážky	mm	12
Výška	mm	1925
Zastavovací plocha (šířka, hloubka)	mm	1502, 1284
Hmotnost	kg	700
Řídicí systém	Sinumerik 810d/840d	
